



Bir Kapı-Doğrama Süreci Belirsizlik Analizi için Bulanık Modelleme

Mükerrem Bahar BAŞKIR^{1*}, Selman KARAYILMAZLAR²

¹ Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 74100, BARTIN

² Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 74100, BARTIN

Öz

İşletmeler günümüz rekabet ortamına ayak uydurabilmek için yönetim, üretim/hizmet süreçlerinin bütününde, müşteri memnuniyetinin ön planda tutulduğu iyileştirme çalışmalarında bulunmaktadır. Türkiye’de bu çalışmaların en etkili örnekleri inşaat sektöründe gerçekleştirilmektedir. Küresel inşaat sanayinde kendini ispatlamış birçok Türk firması mevcut kaynak yönetimini iyileştirme ve kontrol altına alma çalışmaları içerisinde. İşletmeler bünyelerinde yan sanayi gereksinimlerini karşıladıkları birimler kurmaktadırlar. Bunun yanı sıra, işletmeler için süreç iyileştirme çalışmalarında bilimsel yöntemlere dayalı değerlendirmelerin önemi artmaktadır. Bu çalışmada, bir şirketler topluluğunun yan sanayi ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile kurduğu kapı doğrama fabrikasında birim kapı imalat sürecinin modellenmesi için bir yaklaşım önerilmektedir. Bu yaklaşım üç aşamadan oluşmaktadır: i) Birim kapı imalatında problem kaynağının tespit edilerek veri tabanlarının oluşturulması, ii) Oluşturulan veri tabanları için üyelik değerlerinin hesaplanması, iii) Veri tabanlarının üyelikleri ile birlikte bulanık (regresyon) fonksiyonlar kullanılarak modellenmesi. Fabrikada problem birim kapı imalatının hedeflenenden daha uzun sürmesidir. Birinci aşamada, balıkkıçığı diyagramı ile problemin etkili nedenleri belirlenmektedir. Pareto analizi ile kapı imalatında harcanan süre bakımından etkili olan ana parçalar ve alt işlemleri seçilerek veri tabanları oluşturulmaktadır. İkinci aşamada, bu veri tabanlarının yapısı kaynaklı belirsizlikler için bulanık öbeleme ile üyelik değerleri hesaplanmaktadır. Üçüncü aşamada, veri tabanları ve üyelikleri bulanık (regresyon) fonksiyonları ile modellenmektedir. Önerilen yaklaşıma göre belirlenen kapı kanadı ve kasası veri tabanlarının bulanık öbeklenme yapıları, sırasıyla, %93,0 ve %94,0 doğruluk oranları ile oluşturulmuştur. Sonuç olarak, birim kapı imalat-süreleri için belirlenen bulanık fonksiyon performans sonuçlarının (kapı kanadı için $R^2=73,8$ ve $HKOK=0,455$; kapı kasası için $R^2=72,8$ ve $HKOK=0,553$) klasik regresyondan daha iyi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kapı imalatı, pareto analizi, balıkkıçığı diyagramı, bulanık öbeleme, bulanık regresyon.

Fuzzy Modeling for Uncertainty Analysis of a Door-Joinery Process

Abstract

Organizations have been working on the improvement studies focused on customer requirements in their management, production/service processes to keep up with global competition area. The most effective examples in Turkey can be seen in construction sector. The famous Turkish organizations in global construction industry have been working on improving their resource managements and taking them under control. Organizations set up their ancillary industries to fulfill their own requirements. Besides, there is an increased interest in scientific techniques for improving processes. In this study, we proposed an approach to model a production process of a door-joinery factory, which is set up to satisfy the Turkish corporation group’s requirements. This approach has three phases: i) Determining problem-resources for a door production and creating databases, ii) Calculating membership values for the databases, iii) Modeling the databases with their memberships using fuzzy (regression) functions. Factory’s problem is related to a door production-time, which takes long than the factory’s target. In the first phase, the effective causes of the problem are investigated using fishbone diagram. After determining the effective main parts and their operations by the production-time via pareto analysis, the databases are created. In the second, membership values of the databases are calculated to identify data-based uncertainties. In the third phase, databases and their memberships are modeled by fuzzy (regression) functions. According to the proposed approach, fuzzy clustering structures of the door leaf and frame databases are occurred with 93.0% and 94.0% accuracy rates, respectively. Consequently, fuzzy functions for a door production-time give better performance-results (door-leaf: $R^2=73.8\%$, $RMSE=0.455$; door-frame: $R^2=72.8\%$, $RMSE=0.553$) than convenient models.

Keywords: Door production, pareto analysis, fishbone diagram, fuzzy clustering, fuzzy regression.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Mükerrem Bahar BAŞKIR (Dr.); Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü,
74100, Bartın-Türkiye. Tel: +90 (378) 501 1000, Fax: +90 (378) 501 1018, E-mail:
mbaskir@bartin.edu.tr ORCID No: 0000-0002-1107-0659

Geliş (Received) : 11.10.2018
Kabul (Accepted) : 06.11.2018
Basım (Published) : 15.12.2018

1. Giriş

Küresel rekabet ortamı, tüm sektörler için bilgi ve kaynak paylaşımını üst seviyeye taşıyarak kalite düzeyini artırmaya olanak sağlamaktadır. Türkiye, inşaat sektörü ile bu rekabet ortamına en iyi şekilde adapte olmaktadır. Türkiye’de inşaat sektörü 1970’li yıllardan günümüze hem yerel hem küresel hızlı ilerleyişini sürdürmektedir. Bu doğrultuda, işletmeler mevcut üretim/hizmet süreçlerini iyileştirici çalışmalar içerisinde bulunmaktadır. Üretim/hizmet süreçlerinde kalite düzeyinin kontrolü ve artırılması için etkili bir müşteri-işletme-tedarikçi zincirine ihtiyaç vardır. Bu zincir içerisinde, küresel inşaat sanayinde isim yapmış firmalar için en önemli konu yan sanayi ihtiyaçlarını en hızlı ve iyi şekilde karşılamaktır. Bu nedenle, 1970’lerden günümüze faaliyet alanını genişleterek çeşitlendirmiş bir şirketler topluluğunun kapı doğrama fabrikası ile çalışılmıştır. Fabrikada odak, birim kapı imalat süresinin azaltılmasıdır. Bu odak için bulanık yaklaşımlara ve kalite kontrol araçlarına dayalı üç aşamadan oluşan bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşımda, balıkkıçığı diyagramı ile birim kapı imalat süresinin azaltılmasına etki eden alt nedenler ve bunların içerisinde en etkili olanı belirlenmiştir. Birim kapı imalatında gerçekleştirilen aşamaların (işlemlerin) yarattığı etki pareto analizi ile araştırılmıştır. Özellikle kapı kanadı ve kasası parçalarının yapımlarında harcanan sürelerin fazlalığı dikkat çekmiştir. Bu parçalar için gerçekleştirilen alt aşamaların (işlemlerin) süreleri beş hafta boyunca izlenmiş ve böylece modelleme çalışması için gerekli veri tabanları oluşturulmuştur. Veri yapısı kaynaklı belirsizlik analizinde bulanık mantığın (Zadeh, 1965) temelinde yer alan üyelik dereceleri tabanlı değerlendirmeler etkilidir. Kapı kanadı ve kasası için oluşturulan veri tabanları ve belirsizlikleri bulanık öbekleme teknikleri içerisinde en iyi bilinen bulanık öbek ortalamaları (BÖO) algoritması (Bezdek, 1981) ile incelenmiştir. Denetlenememe özelliğine sahip BÖO algoritması ile en uygun öbeklenme yapısını (bulanık parçalanmayı) belirlemek için Tang ve Sun (2005)’un önerdiği geçerlik indeksinden yararlanılmıştır. Fabrika odağı kapsamında oluşturulan veri tabanları, Türkşen (2008, 2012) tarafından önerilen bulanık (regresyon) fonksiyonları kullanılarak modellenmiştir. Bu fonksiyonlar, üyelikler ve dönüşümlerinin etkisini içeren yapısı ile karar vermede etkili bir model ortaya koymaktadır. Literatürde, bulanık (regresyon) fonksiyonlar ve türevlerinin modellemedeki katkısını gösteren çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Uygulama alanları bakımından bu çalışmalardan bazıları; Başkır ve Türkşen (2010)’in Türkiye’deki bir inşaat firması tedarikçilerinin seçimi ve değerlendirmesinde bulanık fonksiyonların uygulaması, Zarandi ve ark. (2013)’nin geliştirdikleri yeni bulanık fonksiyon yaklaşımının hisse senedi fiyat tahmini uygulaması, Aladag ve ark. (2014)’nin, gerçek yaşam zaman serisi için bulanık fonksiyonlar ile tahminleme, Başkır (2016)’nın DuPont analizi ile Türk sigortacılık sektöründeki hayat sigortası firmalarının finansal performansları için bulanık fonksiyonlarla modellemedir. Öte yandan, literatürde gerçek yaşam uygulamalarında bulanık yaklaşım, yapay sinir ağları, parçacık sürü optimizasyonu gibi yapay zeka teknikleri ile yapılan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar içerisinde ele alınan probleme çözüm ve modelleme önerileri bakımından dikkat çekici olanlardan bazıları şöyledir: Wang ve ark. (2014), nehir suyu kalite değerlendirmesi için entegre bir değişken bulanık değerlendirme modeli önermişlerdir. Su-kalite indekslerinin aralık olarak tanımlandığı bu modelin tek bir indeks değerini ele alan geleneksel değerlendirmelerden daha hassas sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Taormina ve ark. (2015), akarsu akım debisi tahmininde veriye dayalı taban akışı temelli modüler model etkisini incelemişlerdir. Model yapısını ikili-kodlu sürü optimizasyonu ile tanımlamışlardır. Akış tahmininde modüler modelin global modelden daha iyi olduğunu gösteren bir kanıtı ulaşımadıklarını vurgulamışlardır. Bardak ve ark. (2016), ahşap malzemenin yapışma direnci tahminini yapay sinir ağları ve çoklu doğrusal regresyon modelleri ile incelemişlerdir. Deneysel veri ile oluşturulan yapay sinir ağı model performansının çoklu doğrusal regresyon performansından daha iyi olduğu görülmüştür. Bardak ve ark. (2017), ahşap malzemenin renk yoğunluğu analizinde dijital görüntü işlemedeki kırmızı-yeşil-mavi renk muayenesine dayalı bulanık mantık modeli önermişlerdir. Böylece, bulanık mantığın odun yoğunluğu modellemesinde %98,17 doğruluk oranı ile etkili bir yöntem olduğunu göstermişlerdir.

Kapı-doğrama imalat sürecini ele alan bu çalışma, önerilen bulanık yaklaşım ve gerçek yaşam uygulama sahasına etkisi bakımından yol göstericidir. Bu çalışmanın bölümleri aşağıdaki gibi düzenlenmiştir:

İkinci bölümde, amaç, kapsam, önerilen yaklaşım ve kullanılan yöntemler ile birlikte BÖO algoritması, öbek geçerlik indeksi ve bulanık (regresyon) fonksiyon tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde, önerilen yaklaşımın bir kapı doğrama fabrikasında uygulaması verilmiştir. Fabrikada karşılaşılan problemin tanımı ve nedenleri balıkkıçığı ve pareto analizi ile incelenmiş ve böylece oluşturulan veri tabanları için bulanık öbeklenme yapılarını içeren bulanık regresyon modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra klasik ve bulanık fonksiyonlar ile oluşturulan regresyon modelleri karşılaştırılmış ve dördüncü bölümde sonuçlara yer verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

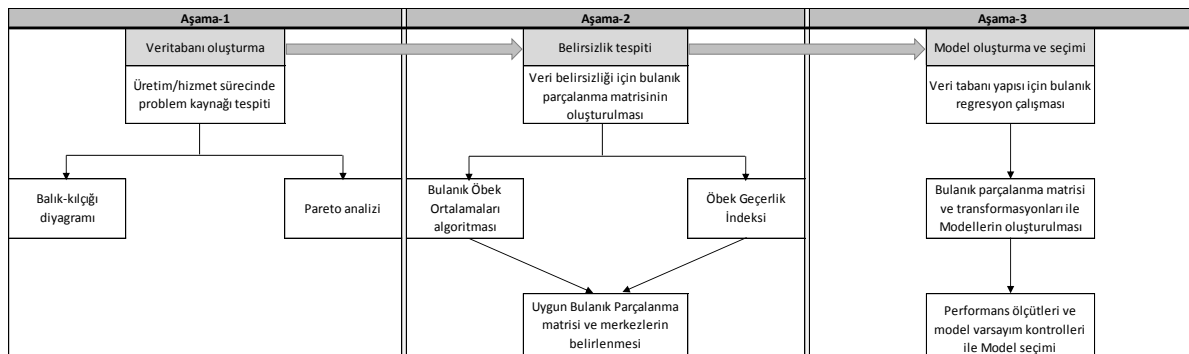
Araştırmanın Amacı, Kapsamı ve Evreni

Bu çalışmada, birim kapı imalat sürecini etki eden etkenler bulanık mantık ve toplam kalite yönetimi araçlarını içeren bir yaklaşım ile modellenmektedir. Çalışmada, bir kapı doğrama fabrikasının, yan sanayi ihtiyacını karşılamakla yükümlü olduğu şirketler topluluğu site inşaatı projesi için gerekli 1000 adet kapı-doğrama üretim süreci incelenmiştir. Fabrikada iş akışının ilk adımı müşteri ile firma arasında geçen teklif yazışmaları ve sunumudur. İkinci adımda, kabul edilen teklifi takiben fabrikada kapı imalatı için üretime hazırlık aşaması gerçekleştirilmiştir. Hazırlık içerisinde, üretim için gerekli mevcut malzemelerin tespit ve gerekli olanların tedarik edilmesi, kapı talebi için gerekli ölçümlerin yapılması ve iş emirlerinin hazırlanması vb. işlemler yer almıştır. Üçüncü adımda, birim kapı imalat aşamaları (işlemleri) gerçekleştirilmiştir. Birim kapı imalatında yapımı gerçekleştirilen altı ana kısım (parça); i) kapı kasası, ii) kapı kanadı, iii) ayarlı pervaz, iv) panel kapı kanadı, v) cam çıtalar, vi) havalandırma menfezidir. Yapımı gerçekleşen her bir altı ana parça farklı sayıda alt aşama (işlem) sonucunda elde edilmiştir. Son olarak, üretilen kapılar müşteriye montajlı olarak teslim edilmiştir. Müşteri talebinden, talebin fabrika bünyesinde yerine getirilip müşteriye montajlı olarak teslim edilmesine kadar geçen iş çevriminde üretim süreci öğeleri şöyledir: i) Müşteri: Şirketler topluluğuna bağlı site inşaatı şantiyesi, ii) Girdi: Site inşaatı için gerekli kapı-doğrama talebi, iii) İşlev: Birim kapı imalatında yapımı gerçekleştirilen altı ana parça ve alt aşamaları (işlemleri), iv) Çıktı: Birim kapı imalatında harcanan sürenin azaltılarak talebin karşılanması, v) Tedarikçi: Şirketler topluluğunun merkez satın alma birimi.

Bu çalışmada, fabrikada birim kapı imalat süresinin azaltılması için öncelikli olarak ilgilenilmesi gereken üretim aşamaları ve gerçekleştirilme sürelerinin tespitidir. Toplam kalite yönetimi araçları ile seçilen üretim aşamaları ve süreleri için modelleme çalışması yapılarak kapı imalatında etki eden öncelikli aşamaların toplam süreye etkileri belirlenmiştir. Bulanık yaklaşımların kullanılması ile veri kaynaklı belirsizlik durumlarının model yapısına etkisi araştırılmıştır.

Metot

Karar vermede etkili bulanık mantık ve toplam kalite yönetimi araçlarına dayalı bir yaklaşımın önerildiği bu çalışma ile veri yapısı kaynaklı belirsizliğin ele alındığı modelleme çalışması hedeflenmiştir. Modelleme yaklaşımı üç aşamadan oluşmaktadır: i) Veri tabanının oluşturulması, ii) Belirsizliğin bulanık yaklaşım ile incelenmesi, iii) Bulanık fonksiyon yaklaşımı ile modellemenin yapılması. Birinci aşamada, çalışmanın uygulama sahasına ilişkin veri tabanının oluşturulmasında toplam kalite yönetiminin iki temel aracından yararlanılmıştır. Üretim/hizmet süreçlerinde belirli bir olayın nedenlerini belirlemede etkili bir yöntem olarak Ishikawa (1990) tarafından geliştirilmiş balıkkıçığı diyagramı (neden-sonuç/Ishikawa diyagramı), 80/20 prensibi olarak adlandırılan ve Vilfredo Pareto'nun İtalyan halkının gelir paylaşımını araştırırken 1897'de önerdiği Pareto analizi araçları kullanılmıştır. Pareto diyagramı üretim süreçlerinde kronikleşmiş problemlerin/ortak nedenlerin kaynağını belirlemede yardımcı olan bir araçtır (Breyfogle, 2003). İkinci aşamada, oluşturulan veri tabanı belirsizliğinin tespiti için bulanık öbeleme yaklaşımından yararlanılmıştır. Bulanık öbeleme ile veri tabanı yapısı için uygun bulanık parçalanma belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, bulanık fonksiyonlar (Türkşen, 2008) ile veri ve belirsizliğinin birlikte ele alındığı modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Bulanık parçalanma matrisi ve dönüşümleri ile oluşturulan bulanık (regresyon) fonksiyonlardan doğru model seçiminde belirlilik katsayısı (R^2) ve hata kareler ortalamasının karekökü (HKOK) ölçütlerinden yararlanılmıştır. Önerilen yaklaşımın adımları Şekil 1'de verilmektedir:



Şekil 1. Önerilen yaklaşım ve aşamaları.

Bu bölümde, Şekil 1'de verilen bulanık yaklaşım araçları tanıtılmaktadır.

Bulanık Öbekleme Algoritması

Bulanık öbekleme, gerçek yaşam problemlerinde ilgilenilen tüm değişkenler bakımından birimlerin ait olma derecesine göre sınıflandırılmasında kullanılan etkili bir araçtır. Bulanık öbekleme yöntemleri içerisinde en iyi bilineni Bezdek (1981) tarafından (1) ile verilen bir en iyileme problemi olarak geliştirilmiş bulanık öbek ortalamaları (BÖO) algoritmasıdır.

$$\min J(U, V) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c \mu_{ik}^m (\|x_k - v_i\|) \quad (1)$$

$$0 \leq \mu_{ik} \leq 1, \forall i, k, \quad \sum_{i=1}^c \mu_{ik} = 1, \forall k, \quad 0 \leq \sum_{k=1}^n \mu_{ik} \leq n, \forall i$$

Burada, J minimize edilen amaç fonksiyonu, $c \in (1, n)$ için c öbek sayısı, m bulanıklık mertebesi, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ p -boyutlu uzaya ait n elemanlı veri kümesi, $V = [v_1, v_2, \dots, v_c]$, öbekleri temsil eden merkez matrisi, $U = [\mu_{ik}]_{cn}$ üyeliklerin matrisidir. $\|\cdot\|$ normu, veri vektörü ve bulanık öbek merkezi arasındaki benzerliği tanımlayan Öklid normudur.

(1) ile verilen eşitlik kısıtlı en iyileme problemi Lagrange çarpanları yöntemi ile çözülmektedir. Bu problemin çözümleri olan üyelik fonksiyonu ve merkezler (2) ve (3)'teki gibidir:

$$\mu_{ik,t} = \left[\sum_{j=1}^c \left(\frac{\|x_k - v_{i,t-1}\|_A}{\|x_k - v_{j,t-1}\|_A} \right)^{2/(m-1)} \right]^{-1} \quad (2)$$

$$v_{i,t} = \frac{\sum_{k=1}^n (\mu_{ik})^m x_k}{\sum_{k=1}^n (\mu_{ik})^m} \quad (3)$$

Bulanık öbek ortalamaları (BÖO) algoritma adımları aşağıdaki gibidir:

Algoritma 1. BÖO algoritma adımları.

Adım 1. Öbek sayısı (c), bulanıklık mertebesi (m), adım sayısı ($iter$) ve ε değerlerini belirle.

Adım 2. Başlangıç üyelik matrisini rasgele olarak belirle.

Adım 3. Başlangıç öbek merkezlerini bul.

Adım 4. $t=1$ 'den $iter$ 'e aşağıdaki işlemleri yap:

- Gözlemlerin merkeze olan uzaklıklarını Öklid normu ile hesapla:

$$d(x_k, v_i) = \|x_k - v_i\|$$

- Yeni üyelik matrisini (2) ile hesapla.
- Yeni öbek merkezlerini (3) ile hesapla.
- Eğer, $t=iter$ ve $\|v_{i,t} - v_{i,t-1}\| \leq \varepsilon$ ise DUR.

BÖO algoritmasının denetlenememe özelliği nedeni ile uygun öbek sayısı (c^*) ve bulanıklık mertebesinin (m^*) seçiminde öbek geçerlik indekslerinden yararlanılmaktadır. Bu indekslerden bazıları Bezdek bölümlenme katsayısı ve bölümlenme entropisi (1974a-b, 1981), Fukuyama ve Sugeno (1989), Xie ve Beni (1991), Kim ve Ramakrishna (2005), Çelikyılmaz ve Türkşen (2008a)'in geliştirdiği indekslerdir. Bu indeksler sayesinde veri yapısı belirsizliği için en uygun bulanık parçalanma matrisi belirlenmektedir. Bu çalışmada, Tang ve Sun tarafından geliştirilmiş (4) ile verilen öbek geçerlik indeksinden yararlanılmıştır.

$$V_{TS}(\mu) = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n \mu_{ik}^2 \|x_k - v_i\|^2 + \frac{1}{c(c-1)} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1, j \neq i}^c \|v_i - v_j\|^2}{\min_{i \neq j} \left\{ \|v_i - v_j\|^2 \right\} + 1/c} \right\} \quad (4)$$

Bulanık Regresyon Modeli

Türkşen'in (2008) önerdiği bulanık fonksiyonlar, sistem modelleme ve sonuç çıkarımda etkili araçlardır. Bulanık fonksiyonlar, en küçük kareler (EKK) yöntemi kullanılarak katsayıların tahmin edildiği bulanık regresyon modelleridir (bkz. Türkşen, 2012). EKK tekniğine dayalı bulanık fonksiyon yaklaşımı Demirci (1999, 2003)'nin sadece üyeliklerden oluşan fonksiyon tanımlamasından yola çıkarak geliştirilmiştir. Bir bulanık öbeleme algoritması ile elde edilen i . öbeğe ait üyelik değerleri ($i \in [1, c]$), $\Gamma_i = (\mu_{ik^*} | i = 1, \dots, c^*; k^* = 1, \dots, n)$ ile gösterilsin. EKK tekniğine dayalı bulanık regresyon modelleri (BR-Modelleri) için yeni girdi matrisleri:

BR-M1 için $X^I = (1, \Gamma, X)$;

BR-M2 için $X^{II} = (1, \Gamma^m, X)$;

BR-M3 için $X^{III} = (1, \exp(\Gamma^m), X)$;

BR-M4 için $X^{IV} = (1, \Gamma^m, \exp(\Gamma^m), X)$;

biçiminde seçilebilmektedir. Böylece ilgilenilen veri tabanı ve belirsizliği için orijinal girdi değişkenlerin yanı sıra üyelikler ve dönüşümlerini içeren yeni girdi matrisleri ele alınmaktadır. Bu yeni girdi matrisleri ile çıktı vektörü arasındaki fonksiyonel bağıntı için bulanık (regresyon) fonksiyonları oluşturulmaktadır.

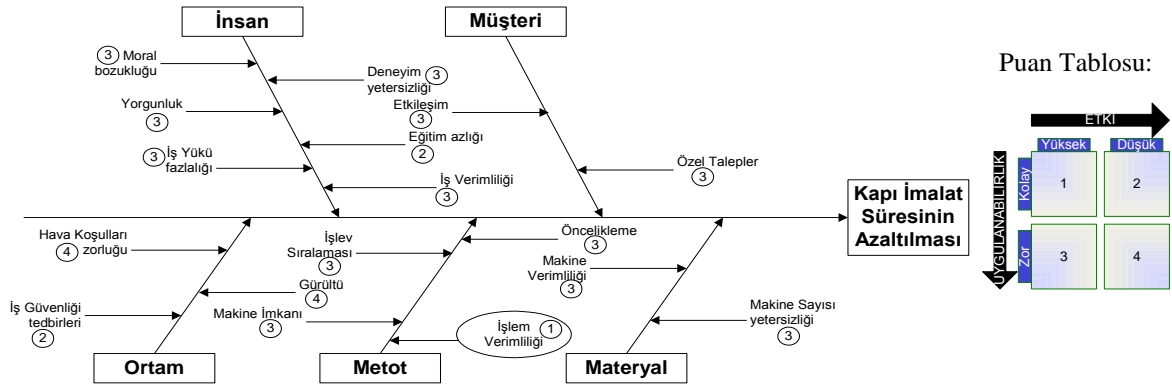
Bu çalışmada, pareto analizi için Minitab paket programı; BÖO algoritması, Tang ve Sun indeksi, bulanık öbeleme grafikleri, klasik ve bulanık regresyon analizleri için Matlab 2018b program kodları kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada önerilen yaklaşım bir kapı doğrama fabrikasında birim kapı imalat sürelerinin modellenmesine uygulanmıştır. Bulgular üç başlık altında verilmektedir. İlk olarak; kapı doğrama fabrikasında balıkkılçığı diyagramı ile birim kapı imalat süresinin azaltılmasında etkili neden belirlenmiştir. Pareto analizi ile birim kapı imalatının alt aşamaları (işlemleri) içerisinde harcanan süreler bakımından en uzun süreleri tespit edilmiştir. Böylece, fabrika bünyesinde ilgilenilen problemin bulanık yaklaşıma dayalı değerlendirmeleri için çok girdili-tek çıktılı (ÇGTÇ) veri tabanları (sistemler) oluşturulmuştur. İkinci olarak, bu veri tabanlarına ilişkin üyelik değerleri bulanık öbeleme yaklaşımı ile belirlenmiştir. Son olarak, veri tabanları ve üyeliklerden oluşturulan yeni ÇGTÇ sistemler için klasik ve bulanık regresyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

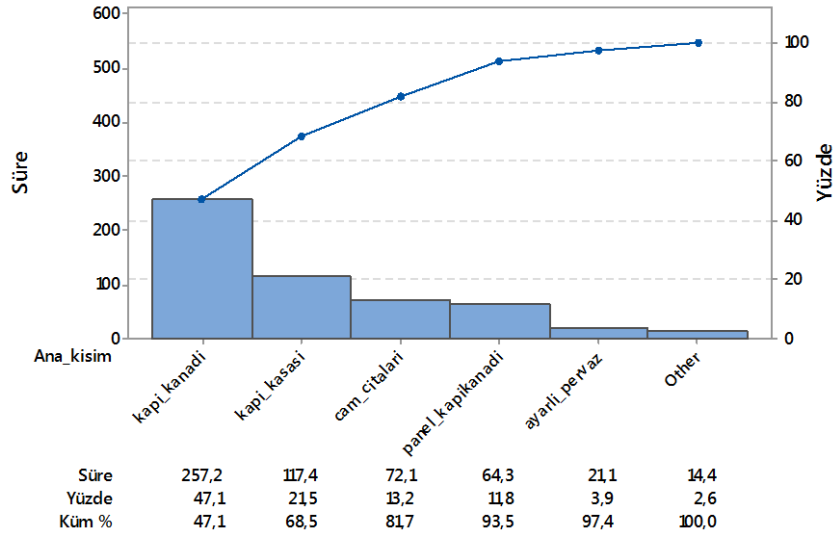
Kapı Doğrama Fabrikasında Problem Tarifi

Bir şirketler topluluğuna bağlı kapı doğrama fabrikasında altı sigma yaklaşımı kapsamında ele alınan birim kapı imalatındaki işçilik sürelerinin azaltılması problemi (bkz. Başkır, 2006) yeniden incelenmiştir. Fabrika kalite sorunlarının nedenleri için balıkkılçığı diyagramı ve puanlaması güncellenmiştir (bkz. Şekil 2).



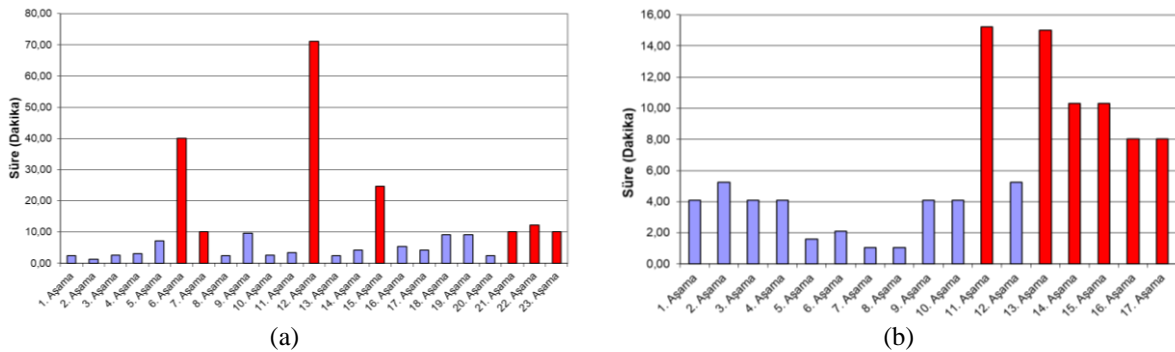
Şekil 2. Kapı imalatı süresini etkileyen alt nedenler.

Şekil 2'ye göre, birim kapı imalat süresinin azaltılmasında uygulanabilirliği yüksek ve etkisi büyük olan problem nedeni *İşlem Verimliliği* olarak belirlenmiştir. Birim kapı imalatında yapımı gerçekleştirilen altı ana kısmın (parçanın) tüm alt işlemlerine göre gerçekleştirilme birim süreleri için pareto diyagramı Şekil 3'deki gibidir:



Şekil 3. Bir kapı imalatında altı ana parçanın yapım sürelerine ilişkin pareto diyagramı.

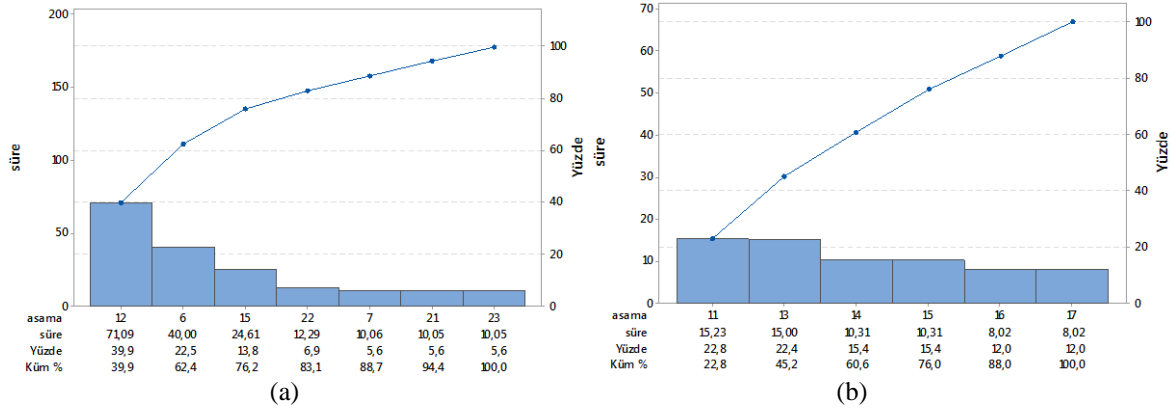
Şekil 3'e göre, bir kapı imalatının gerçekleştirilme süresini etkileyen en önemli iki ana parça %47,1 ile kapı kanadı ve %21,5 ile kapı kasasıdır. Kapı doğrama fabrikasında birim kapı kanadı yapımı 23, birim kapı kasası imalatı toplamda 17 alt işlemden oluşmaktadır. Kapı imalat süresini iyileştirmek amacı ile kapı kanadı ve kasası yapımında alt aşamaların gerçekleştirilme süreleri izlenmiştir (bkz. Şekil 4).



Şekil 4. (a) Kapı kanadı, (b) Kapı kasası alt aşamaları (işlemleri) imalat süreleri.

Şekil 4'de verilen imalat süreleri diğerlerine göre daha uzun süren alt aşamalar; kapı kanadı için 6., 7., 12., 15., 21.-23. işlemler, kapı kasası için 11., 13.-17. işlemlerdir. Kapı kanadı ve kasası için belirlenen alt aşamalarda

harcanan süreler göre problemin çözümünde en etkili olanlar Şekil 5'deki pareto diyagramı ile belirlenmiştir.



Şekil 5. (a) Kapı kanadı ve (b) Kapı kasası imalatlarında en çok zaman harcanan alt aşamaların tespiti.

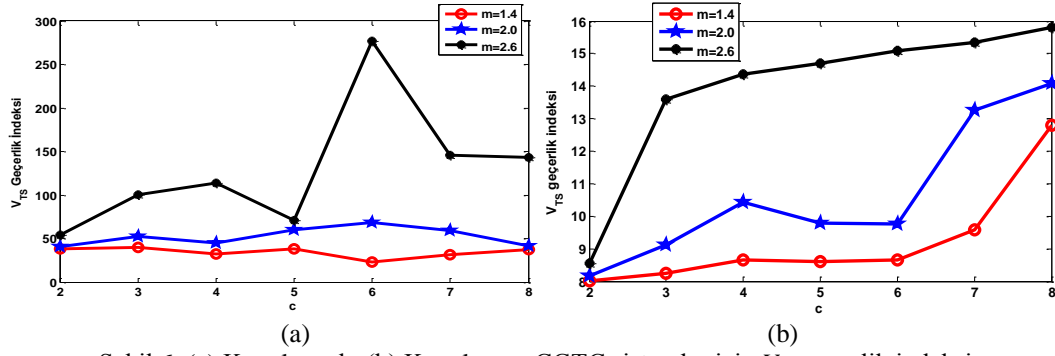
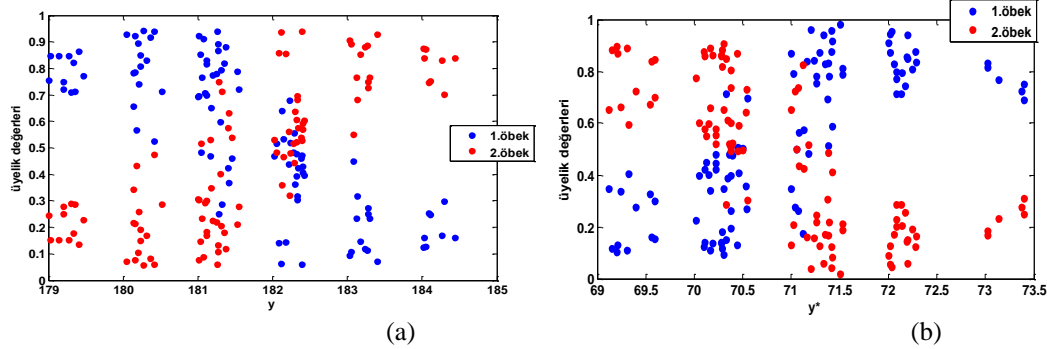
Şekil 5'e göre, kapı kanadı imalatı alt aşamaları içerisinde en çok 12. (%39,9 ile), 6. (%22,5 ile) ve 15. (%13,8 ile) aşamalarda zaman harcadığı görülmektedir. Kapı kasası imalatında ise 11. (%22,8 ile), 13. (%22,4 ile), 14. (%15,4 ile) ve 15. (%15,4 ile) alt aşamalar harcanan süre bakımından öne çıkmaktadır. Buna göre, kapı kanadı ve kasası imalatı için iki ayrı çok girdili-tek çıktılı (ÇGTÇ) veri tabanı (sistem) oluşturulmuştur. Kapı kanadı için oluşturulan ÇGTÇ sistemde 6., 12., ve 15. alt aşamaların gerçekleştirme süreleri girdileri (sırasıyla x_1 , x_2 ve x_3); uzun süren alt aşamalar için toplam süre çıktısı (y) oluşturulmaktadır. Kapı kasası ÇGTÇ sistemde ise 11., 13., 14. ve 15. alt aşamaların gerçekleştirme süreleri (sırasıyla x_1^* , x_2^* , x_3^* ve x_4^*) girdileri; uzun süren alt aşamalar için toplam süre (y^*) çıktısı oluşturulmaktadır. Her iki ana-parçanın toplam süreleri içerisinde taşıma süreleri de bulunmaktadır. İş planı kapsamında, kapı kanadı ve kasası için ilgili alt aşamalar ve toplam süreleri beş hafta boyunca her iş günü dört farklı saat dilimi içerisinde gözlenmiştir. Böylece, kapı kanadı ve kasası için oluşturulan, sırasıyla, 100×4 ve 100×5 boyutlu ÇGTÇ sistemlere ait bazı betimsel istatistikler Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Kapı kanadı ve kasası için oluşturulan ÇGTÇ sistemlere ait bazı istatistikler.

	Alt-aşama	N	Ort	Std Sapma	Minimum	Maksimum
Kapı kanadı	6. aşama (x_1)	100	40,15	0,54	39,05	41,21
	12. aşama (x_2)		71,13	0,45	70,01	72,30
	15. aşama (x_3)		25,08	0,36	24,14	25,49
	Toplam süre (y)		187,78	0,87	186,10	189,35
Kapı kasası	11. aşama (x_1^*)	100	15,27	0,45	14,08	16,31
	13. aşama (x_2^*)		15,05	0,55	14,07	16,20
	14. aşama (x_3^*)		10,34	0,26	9,27	11,00
	15. aşama (x_4^*)		10,34	0,26	9,25	10,86
	Toplam süre (y^*)		71,01	1,03	69,12	73,40

Kapı Kanadı ve Kasası Veri Tabanlarının Bulanık Öbeklenme Yapıları

Kapı kanadı ve kasası yapımları için oluşturulan ÇGTÇ sistemlerin birimleri bakımından benzerlik ve/veya benzememe durumlarını ortaya koyan bulanık öbeklenme yapıları incelenmiştir. Bu ÇGTÇ sistemler için Tang ve Sun (2005)'un öbek geçerlik indeksi sonuçları Şekil 6'da verilmektedir. Şekil 6'ya göre, kapı kanadı ve kasası ÇGTÇ sistemleri için, sırasıyla, en iyi ($c^*=2; m^*=2,0$) ve ($c^*=2; m^*=1,8$) ikilileri seçildiğinde BÖO sonucu öbeklenme durumları Şekil 7'de gösterilmektedir. Kapı kanadı ve kasası ÇGTÇ veritabanları için oluşturulan öbeklere atamaların, sırasıyla, %93,0 ve %94,0 doğruluk oranı ile gerçekleştirildiği görülmüştür.

Şekil 6. (a) Kapı kanadı, (b) Kapı kasası ÇGTÇ sistemleri için V_{TS} geçerlik indeksi.Şekil 7. Bulanık öbekenme sonuçları (a) Kapı kanadı için ($c^*=2; m^*=2,0$), (b) Kapı kasası için ($c^*=2; m^*=1,8$).

Şekil 7'deki bulanık öbekenme yapıları için önerilen sözel ifadeler ve bu ifadeler karşılık gelen bulanık kümeler Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Önerilen sözel ifadeler ve bulanık kümeleri

	Önerilen Sözel Değişkenler	
	Harcanan süre-AZ	Harcanan süre-ÇOK
Kapı Kanadı	Öbek-1 (*)	Öbek-2 (*)
Kapı Kasası	Öbek-2 (*)	Öbek-1 (*)

Kapı Kanadı ve Kasası İmalat Süreleri için Bulanık Regresyon Modelleri

İkinci bölümde verilen bulanık regresyon modelleri (BR-modeller, bkz. Bölüm 2) ile kapı kanadı ve kasası için oluşturulan ÇGTÇ sistemler modellenmiştir. İlgilenilen ÇGTÇ sistemlere ait gözlemlerin %75'i model oluşturmak amacı ile eğitim verisi olarak; %25'i model performansını incelemek amacı ile test verisi olarak seçilmiştir. ÇGTÇ sistemlere ilişkin klasik regresyon modelleri için R^2 , $Düzeltilmiş R^2$ ve hata kareler ortalamasının karekökü (HKOK) sonuçları Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3. Kapı kanadı ve kasası ÇGTÇ sistemleri için klasik regresyon modeli sonuçları.

	Kapı Kanadı için ÇGTÇ sistem		Kapı Kasası için ÇGTÇ sistem	
	$R^2 / Düzeltilmiş R^2$	HKOK	$R^2 / Düzeltilmiş R^2$	HKOK
Eğitim verisi	0,621/0,605	0,530	0,658/0,639	0,617
Test verisi	0,696/0,653	0,560	0,685/0,622	0,602

Bulanık regresyon modelleri (bkz. Bölüm 2) için R^2 , $Düzeltilmiş R^2$ ve HKOK değerleri ÇGTÇ sistemin eğitim ve test verilerine göre Tablo 4'de gösterilmektedir.

Tablo 4. Kapı kanadı ve kasası ÇGTÇ sistemler için BR-model sonuçları.

			Öbek-1 (m=2,0)		Öbek-2 (m=2,0)	
			$R^2 /$	HKOK	$R^2 /$	HKOK
			Düzeltilmiş R^2		Düzeltilmiş R^2	
Kapı Kanadı	Eğitim Verisi	BR-M1	0,701/0,684	0,474	0,701/0,684	0,474
		BR-M2	0,723/0,707	0,456	0,682/0,664	0,488
		BR-M3	0,718/0,702	0,460	0,669/0,650	0,499
		BR-M4	0,725/0,705	0,458	0,755/0,737	0,432
	Test Verisi	BR-M1	0,774/0,729	0,495	0,774/0,729	0,495
		BR-M2	0,773/0,727	0,496	0,767/0,720	0,503
		BR-M3	0,755/0,706	0,515	0,751/0,701	0,520
		BR-M4	0,818/0,770	0,456	0,832/0,788	0,438
			Öbek-1 (m=1,8)		Öbek-2 (m=1,8)	
			$R^2 /$	HKOK	$R^2 /$	HKOK
			Düzeltilmiş R^2		Düzeltilmiş R^2	
Kapı Kasası	Eğitim Verisi	BR-M1	0,716/0,696	0,566	0,716/0,696	0,566
		BR-M2	0,707/0,686	0,575	0,719/0,699	0,563
		BR-M3	0,698/0,677	0,584	0,714/0,693	0,569
		BR-M4	0,726/0,702	0,560	0,721/0,697	0,565
	Test Verisi	BR-M1	0,778/0,719	0,518	0,778/0,719	0,518
		BR-M2	0,791/0,736	0,503	0,752/0,687	0,547
		BR-M3	0,794/0,740	0,499	0,736/0,666	0,565
		BR-M4	0,794/0,726	0,512	0,798/0,731	0,508

Tablo 3-4'de verilen R^2 , $Düzeltilmiş R^2$ ve $HKOK$ değerlerine göre, bulanık regresyon (BR) modeller klasik regresyon modellerinden daha iyi performansa sahiptir. Tablo 4'de verilen sonuçlar ve EKK tekniği varsayımlarına göre, uygun modeller kapı kanadı için Öbek-1'deki BR-M2 ($X' = (1, \Gamma_1^{2,0}, X)$); kapı kasası için Öbek-2'deki BR-M2 ($X' = (1, \Gamma_2^{1,8}, X)$)'dir. Klasik regresyon ve seçilen BR-M2 modellere ilişkin hatalar normal dağılımlı kitleden gelmektedir (p -değerleri $> 0,10$). Seçilen modeller Kısmi F -testine göre (p -değerleri $< 0,01$), model katsayıları t -testine göre (p -değerleri $< 0,05$) istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Kapı kanadı ve kasası ÇGTÇ sistemler için klasik regresyon ve BR-M2 modelleri Tablo 5'de verilmektedir.

Tablo 5. Kapı kanadı ve kasası için oluşturulan klasik regresyon ve BR-M2 modellerin sonuçları.

			Katsayılar	t -istatistiği	p -değeri	Varyans Büyütme Faktörü
Kapı Kanadı	Klasik regresyon modeli	Sabit	72,30	6,96	0,000	---
		x_1	0,86	8,64	0,000	1,01
		x_2	0,71	5,96	0,000	1,01
		x_3	1,23	8,28	0,000	1,00
		Model:	$R^2=64,3$ $Düzeltilmiş R^2=63,2$ $F_H=57,64$ $HKOK=0,528$ Durbin Watson test istatistiği değeri=1,89			
	BR-M2 modeli (Öbek-1)	Sabit	126,2	9,85	0,000	---
		x_1	0,35	2,80	0,006	2,08
		x_2	0,47	4,28	0,000	1,17
		x_3	0,60	3,57	0,001	1,71
		$(\mu_1)^2$	-2,19	-5,87	0,000	2,91
Model:	$R^2=73,8$ $Düzeltilmiş R^2=72,7$ $F_H=66,92$ $HKOK=0,455$ Durbin Watson test istatistiği değeri=1,87					
Kapı Kasası	Klasik regresyon modeli	Sabit	18,07	4,20	0,000	---
		x_1^*	1,02	7,43	0,000	1,01
		x_2^*	1,07	9,54	0,000	1,00
		x_3^*	1,06	4,41	0,000	1,02
		x_4^*	1,02	4,27	0,000	1,01
	Model:	$R^2=66,2$ $Düzeltilmiş R^2=64,8$ $F_H=46,60$ $HKOK=0,613$ Durbin Watson test istatistiği değeri=1,83				
	BR-M2 modeli (Öbek-2)	Sabit	35,45	6,66	0,000	---
		x_1^*	0,73	5,27	0,000	1,26
		x_2^*	0,42	2,44	0,017	2,85
		x_3^*	0,85	3,80	0,000	1,06
x_4^*		0,99	4,58	0,000	1,01	
$(\mu_2^*)^{1,8}$	-1,67	-4,77	0,000	3,10		
Model:	$R^2=72,8$ $Düzeltilmiş R^2=71,4$ $F_H=50,38$ $HKOK=0,553$ Durbin Watson test istatistiği değeri=1,77					

4. Sonuç ve Öneriler

Günümüz çağdaş işletmeciliğin esasını bilimsel metotlara dayalı karar alma ve yönetim oluşturmaktadır. Bu çerçevede, inşaat sanayinde mevcut başarısını koruma ve geliştirmeyi hedefleyen bir şirketler topluluğunun yan sanayi olan kapı doğrama fabrikası performansını ve kalitesini iyileştirmek amacı ile birim kapı imalat sürelerinin modellenmesi için bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşımın ilk aşamasında, bir olayın neden-sonuç etkisini ortaya koyan balıkkıçığı diyagramı ve puanlama sistemi ile kapı imalatında harcanan sürenin azaltılmasında en önemli neden işlem verimliliği olarak belirlenmiştir. Pareto analizinden yararlanılarak, bir kapı imalat süresini etkileyen ana parça ve alt aşamaları (işlemleri) değerlendirilmiştir. Buna göre, kapı kanadı ve kasası ile bu iki ana parçanın imalat süresini etkileyen alt işlemler belirlenmiştir. Kapı kanadı ve kasası imalat sürelerini en çok etkileyen alt işlemler ile iki adet çok girdili-tek çıktılı veri tabanı (ÇGTÇ sistem) oluşturulmuştur. İkinci aşamada, bu sistemler için BÖO algoritması ve Tang-Sun geçerlik indekslerine göre oluşturulan iki öbek, imalatta harcanan süre düzeyleri *Az* ve *Çok* olarak tanımlanmıştır. Üçüncüde, her iki sistemin bulanık öbeklenme yapılarına ilişkin üyelik değerleri ile en küçük kareler (EKK) tekniğine dayanan bulanık (regresyon) fonksiyonları oluşturularak birim kapı imalat süreci modellenmiştir. ÇGTÇ sistemlerin yanı sıra bunların üyelikleri ve üyeliklerin dönüşümleri ile oluşturulan dört adet bulanık regresyon modellerine ait performans ölçütlerinin (R^2 /Düzeltilmiş R^2 ve *HKOK* değerlerinin), klasik regresyon modellerinkinden daha iyi olduğu görülmüştür. EKK tekniği varsayımlarına göre her iki ÇGTÇ sistemin BR-M2 modelleri uygun bulunmuştur. Seçilen modellerde, ÇGTÇ sistemlerin ölçüm değerleri bakımından benzerlik (veya benzememe) durumlarını gösteren üyeliklerdeki değişimin çıktılara (toplam imalat sürelerine) etkileri ile veri kaynaklı belirsizliğin modele etkisi tanımlanmıştır. Bu modellerdeki katsayılar, kapı kanadı ve kasası imalatında uzun süren işlemler için toplam sürede ÇGTÇ sistemlerdeki her bir alt aşamanın etkisini göstermektedir.

Kapı kasası için oluşturulan klasik regresyon modelinde aşama-13 (x_2^*)'deki bir birim değişim toplam sürede (y^*) ortalama 1,07 birim artışa; BR-M2 modelde ise, aşama-13'deki bir birim artış toplam sürede ortalama 0,42 birim artışa neden olmaktadır. Öte yandan, kapı kanadı için klasik regresyon modelinde aşama-6 (x_1)'daki bir birim artış toplam süreye (y) ortalama 0,86 birim etkilemektedir. BR-M2 modelde ise, aşama-6 toplam sürede ortalama 0,35 birim artışa neden olmaktadır. BR-M2 model yapılarına göre, kapı kasası için aşama-13'ün ve kapı kanadı için aşama-6'nın ilgili ÇGTÇ sistemlerde toplam süreye etkileri diğer işlemlere göre daha düşüktür. Bu nedenle, kapı imalat süresi azaltma çalışmalarında bahsedilen iki alt aşama dışında modellerde yer alan diğer alt aşamalarda öncelikli iyileştirme yapılmasında fayda olacağı düşünülmektedir. Önerilen bulanık yaklaşım ile alt aşamalar ve toplam süreye etkilerinin belirlenmiş olması fabrikada birim kapı imalatı fiili süresinin azaltılması çalışmalarında zaman, maliyet ve kaynak yönetimi açılarından etkili olacaktır. İlerideki çalışmalarda, önerilen bu yaklaşım, üretim/hizmet süreçlerinde belirlenecek farklı gerçek yaşam problemleri için ele alınacaktır.

Kaynaklar

- **Aladag, C.H., Turksen, I.B., Dalar, A.Z., Egrioglu, E., Yolcu, U. (2014).** Application of Type-1 fuzzy functions approach for time series forecasting. Turkish Journal of Fuzzy Systems, 5(1): 1-9.
- **Bardak, S., Tiryaki, S., Bardak, T., Aydın, A. (2016).** Predictive performance of artificial neural network and multiple linear regression models in predicting adhesive bonding strength of wood. Strength of Materials, 48(6): 811-824.
- **Bardak, T., Bardak, S. (2017).** Prediction of wood density by using red-green-blue (rgb) color and fuzzy logic techniques. Journal of Polytechnic, 20(4): 979-984.
- **Başkır, M.B. (2006).** Kapı-doğrama sürecinde altı sigma yaklaşımı. 5. İstatistik Günleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 71-78, Antalya.
- **Başkır, M.B., Türkşen, I.B. (2010).** An uncertainty analysis of supplier selection by fuzzy logic. IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2010), Barcelona, Spain.
- **Başkır, M.B. (2016).** Type-1 Fuzzy Modeling for DuPont Analysis on Turkish Insurance Sector. Turkish Journal of Fuzzy Systems, 7(1): 29-40.
- **Bezdek, J.C. (1974a).** Numerical taxonomy with fuzzy sets. Journal of Mathematical Biology, 1: 57-71.
- **Bezdek, J.C. (1974b).** Cluster validity with fuzzy sets. Journal of Cybernetics, 3(3): 58-73.
- **Bezdek, J.C. (1981).** Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms. Plenum Press: New York.
- **Breyfogle F.W. (2003).** III, Implementing six sigma: smarter solutions using statistical methods. John Wiley & Sons, Hoboken, N.J.
- **Çelikiylmaz, A., Türkşen, I.B. (2008a).** Validation criteria for enhanced fuzzy clustering. Pattern Recognition Letters, 29(2): 97-108.

- **Demirci, M. (1999)**. Fuzzy functions and their fundamental properties. *Fuzzy Sets and Systems*, 106(2): 239–246.
- **Demirci, M. (2003)**. Foundations of fuzzy functions and vague algebra based on many valued equivalence relations, part I: fuzzy functions and their applications. *International Journal of General Systems*, 32(2): 123–155.
- **Fukuyama, Y., Sugeno, M. (1989)**. A new method of choosing the number of clusters for the fuzzy c-means method, in *Proceedings of 5th Fuzzy Systems Symposium*, pp. 247-250.
- **Ishikawa, K. (1990)** *Introduction to Quality Control*, Taylor & Francis.
- **Kim, M., Ramakrishna, R.S. (2005)**. New indices for cluster validity assessment. *Pattern Recognition Letters*, 26(15): 2353-2363.
- **Tang, Y., Sun, F., Sun, Z. (2005)**. Improved validation index for fuzzy clustering. *American Control Conference*, 1120-1125, USA.
- **Taormina, R., Chau K-W., Sivakumar, B. (2015)**. Neural network river forecasting through baseflow separation and binary-coded swarm optimization. *Journal of Hydrology*, 529(3): 1788-1797.
- **Türkşen, I.B. (2008)**. Fuzzy function with LSE. *Applied Soft Computing*, 8(3): 1178-1188.
- **Türkşen, I.B. (2012)**. A review of developments from fuzzy rule bases to fuzzy functions. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 41(3): 347-359.
- **Wang, W-C., Xu, D-M., Chau, K-W., Lei, G-J. (2014)**. Assessment of river water quality based on theory of variable fuzzy sets and fuzzy binary comparison method. *Water Resources Management*, 28(12): 4183-4200.
- **Xie, X.L., Beni, G.A. (1991)**. Validity measure for fuzzy clustering. *IEEE Trans. Pattern and Machine Intelligence*, 3(8): 841-846.
- **Zadeh, L.A. (1965)**. Fuzzy sets. *Information Control*, 8(3): 338-353.
- **Zarandi, MHF., Zarinbal, M., Ghanbari, N., Turksen, IB. (2013)**. A new fuzzy functions model tuned by hybridizing imperialist competitive algorithm and simulated annealing. Application: Stock price prediction. *Information Sciences*, 222(10): 213-228.