KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi 18 (30): 135 - 149, 2016
ISSN: 2147 - 7833, www.kmu.edu.tr

Talep Tahminlerinde Bulanık Zaman Serilerinin Kullanılmasına Yönelik İşletme Uygulaması*

İrfan ERTUĞRUL, Tayfun ÖZTAŞ
Pamukkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Denizli

Özet

Talep tahminleri işletmeler için en kritik faaliyetlerden birisidir. Talep tahmininde her zaman için bir tahmin hatası söz konusu olsa da bu hatanın mümkün olduğunca düşük olması gereklidir. Bu nedenle de talep tahmininin gerçek talebe göre çok yüksek ya da çok düşük olmaması gerekmektedir. Aksi takdirde ya müşteri memnuniyetsizliği ortaya çıkacaktır ya da üretilen mal ya da hizmetler işletmenin elinde kalacaktır. Zaman serileri, gözlemlenen olaya ait değerlerin ortaya çıkış sırasına göre bir araya getirilmesi ile oluşan değerler listesidir. İnsanlar eski çağlardan beri zamana bağlı olayları gözlemleyerek bazı kararlar almış olsa da zaman serilerinin yöntem olarak geliştirilmesi 1970'li yılların başında gerçekleşmiştir. Bulanık mantık, keskin sınırları bulunmayan ve 1965 yılında ortaya çıkmış esnek bir yöntemdir. Bulanık mantıkta olaylar kesin bir şekilde doğru ya da yanlış olarak nitelendirilmez. Bulanık mantık, insanlara benzer şekilde "biraz doğru", "çok yanlış" gibi betimlemeler yaparak mantıksal işlemlerde kelimelerin kullanılabilmesini sağlar. Bulanık mantık sayesinde belirsizliğin fazla olduğu ya da modellemenin zor olduğu sistemler başarılı bir şekilde yönetilebilmektedir. Bulanık zaman serileri, zaman serileri ve bulanık mantığın esnekliğinden faydalanılarak elde edilen bir yöntemdir. Yöntemde zaman serileri bulanıklaştırılarak, bulanık ilişkiler analiz edilerek tahmin değerleri elde edilmektedir. Bu çalışmada bulanık zaman serilerinin işletmeler için talep tahminlerinde kullanılabileceğini göstermek amacıyla talep tahmini yapılıp, sonuçları diğer talep tahmin yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Talep tahmini, Bulanık Mantık, Bulanık Zaman Serisi, İşletme

Business Application for the Use of Fuzzy Time Series in Demand Forecasting

Abstract

Demand forecasting is one of the most critical activities for businesses. Even though it comes to forecast error in demand forecasting, this error should be as low as possible. Therefore, the demand forecast should not be too high or too low according to the actual demand. Otherwise, customer dissatisfaction will occur or manufactured goods or services of business will remain unsold. Time series is a list of values formed by bringing together based on observed values of the emergence of the event as well. People had made decisions observing temporal events since ancient times although the development of time series as a method was realized at the beginning of the 1970's. Fuzzy logic is a soft method which emerged in 1965 and sharp boundaries doesn't exist. In fuzzy logic, events are not considered as "true" or "false" crisply. Fuzzy logic describes as "somewhat true", "very false" similarly people thus it enables using words in logical operations. The systems which are in uncertainty and hard to modelling can be managed easily by the help of fuzzy logic. Fuzzy time series is a method obtained by utilizing of time series and the flexibility of fuzzy logic. Forecasted values obtained by fuzzification of time series and analyzing fuzzy relations in the method. In order to show fuzzy time series can be used in demand forecasting, demand forecasting was done with this method and after that results of method were compared with other methods' results in this study.

Keywords: Demand Forecasting, Fuzzy Logic, Fuzzy Time Series, Business

*Bu makale Tayfun ÖZTAŞ'ın Doç. Dr. İrfan ERTUĞRUL danışmanlığında hazırlamış olduğu "Bulanık Zaman Serilerinin Talep Tahminlerinde Kullanılmasına Yönelik İşletme Uygulaması" isimli yüksek lisans tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

1. Giriş

Olayların gerçekleştikleri zaman noktasına göre incelenip, olay sonuçlarının bu zaman noktasına göre sıralanarak oluşturulduğu serilere zaman serileri denilmektedir. Zaman serilerinde ölçümler belirli noktalarda yapılabildiği gibi, sürekli olarak da yapılabilmektedir. Oluşturulan bu zaman serileri sayesinde insanlar günlük hayatlarında olayları daha iyi analiz edip, planlamalar yaparak dış dünyayı daha iyi yorumlayabilmektedirler. Bu yorumların yardımıyla maruz kalabilecekleri riskleri önceden kestirip muhtemel zararları mümkün olan en az düzeye indirme şansı bulabilmektedirler. Örneğin, sahip olduğu meyve bahçesinde çiçeklenme döneminde soğuk havaya karşı çok hassas olan meyve ağaçlarına sahip olan bir çiftçi, geçmiş dönemlerin sıcaklık değerlerine bakarak tarımsal don olayına karşı önemler alarak zararını azaltabilmektedir. Buna benzer olarak, zaman serileri tanımlama, açıklama ve tahmin gibi birçok alanda uygulanabilmektedir.

Belirli bir olaya ait sonuçların, bir kurala bağlı olarak çeşitli zaman noktalarında ölçülerek oluşturulmuş bir zaman serisi bulanık mantık perspektifi ile ele alındığında bulanık zaman serileri kavramı ortaya çıkmaktadır. Bulanık zaman serisi kavramı ilk olarak 1993 yılında Song ve Chissom tarafından ortaya atılmıştır. Öne sürülen bu kavram ile Alabama Üniversitesi'ne yıllar bazında kayıt olan öğrenci sayılarının kullanıldığı bir model kurulmuştur.

Song ve Chissom tarafından geliştirilen bulanık zaman serileri işletmecilik açısından düşünüldüğünde, söz konusu yöntemin talep tahminleri alanında kullanılabileceği fikri oluşmaktadır. Talep tahminleri ise bir işletmede kapasite büyüklüğü, istihdam edilecek personel sayısı, üretim planları, depo alanlarının büyüklüğü, çalışılacak tedarikçi sayısı gibi hayati konuları direkt olarak etkileyen bir kavramdır. Bu konular işletmeler için büyük yatırım ve dolayısıyla birer

maliyet kaynağı olduklarından işletmenin karlılığı üzerinde büyük bir etkileri vardır. Talep tahminleri bu gibi nedenlerden ötürü işletmelerin çeşitli birimlerinin bir araya gelerek, çeşitli yöntemler kullanarak yönettikleri bir süreçtir.

Bu çalışmada, bakır madeninden çeşitli ürünler üreten bir işletmenin satmış olduğu belirli bir tip ürün için talep tahmini uygulaması yapılmıştır. Ürüne ait talep verisinin aylar bazında tutulması nedeniyle bu seri bir zaman serisi olarak ele alınmıştır ve bulanık zaman serilerinin talep tahminlerinde de kullanılabileceği gösterilmeye çalışılmıştır. Bulanık zaman serilerinin yeterli sonuç verip vermediğini incelemek amacıyla da nicel talep tahmini yöntemlerinden faydalanılarak hata analizi yardımıyla bir karşılaştırma yapılmıştır.

2. Doğrusal Zaman Serisi Modelleri

Zaman serileri analizi, gözlemler ile rastgele olaylar arasındaki yapısal bağımlılıkları ilgili parametreler yardımıyla inceleyen istatistiğin bir alt dalıdır. Gözlemlenen olaylar zamana göre incelendiğinden, zaman kavramı bu süreçlerdeki tek parametredir (Palit ve Popovic, 2005: 18). Zaman serileri $x_1, x_2, \ldots$ gibi rastgele değişkenlerden oluşan bir dizi şeklinde tanımlanır. Zaman serileri ile analiz yapabilmek için durağanlık, otokovaryans ve otokorelasyon gibi kavramların incelenmesi gerekmektedir.

Durağanlık, rastgele bir değişkenin zaman içerisinde ortalamasının, varyansının ve otokovaryansının değişmemesi şeklinde ifade edilir. Durağanlık kavramı aynı zamanda seri değerlerinin belli bir değere yakınsamasını ya da serinin beklenen değerinin etrafında dalgalanması anlamına gelir (Bozkurt, 2013: 29).

Zaman serilerini oluşturan sürecin kesin olarak tanımlanabilmesi için bu sürecin olasılık dağılımının tanımlanması gerekmektedir; ancak bu genellikle mümkün olmamaktadır (Akgül, 2003: 10). Bu nedenle zaman serileri hakkında bilgi sahibi olabilmek için korelasyon ve otokorelasyon fonksiyonlarından faydalanılmaktadır.

Bir zaman serisinin gecikmeli değişkenleri arasında hesaplanan korelasyon katsayılarına otokorelasyon katsayıları denir. Örneğin Xt ile Xt-1 arasındaki korelasyon katsayısına birinci dereceden otokorelasyon katsayısı denir (Günay ark., 2007: 7). Otokorelasyon katsayıları bu nedenle bir zaman serisinde hafıza uzunluğunun ve güçlülüğün bir ölçüsü olarak kabul edilir (Granger ve Newbold, 1986: 5). Bir serinin otokovaryans fonksiyonu γ ile gösterilmek üzere, otokorelasyon fonksiyonu (ACF) Eşitlik (1)'de gösterildiği gibidir (Bisgaard ve Kulahci, 2011: 52):

$$\rho_\ell = \frac{\gamma_\ell}{\sqrt{\gamma_0}\sqrt{\gamma_0}} = \frac{\gamma_\ell}{\gamma_0} \tag{1}$$

Doğrusal zaman serisi modelleri, otoregresif (AR) modeller, hareketli ortalamalar (MA) modelleri ve otoregresif hareketli ortalama (ARMA) modelleri olarak üç gruba ayrılırlar.

2.1. Otoregresif (AR) Modeller

Otoregresif modeller, isminden de anlaşılabileceği gibi kendi içinde regresyona sahip modellerdir. Bu modelde, modelin şimdiki değeri kendinden önceki p dönemin değerleri ve geçmiş değerlerden bağımsız bir şok değerinin doğrusal kombinasyonudur (Cryer ve Chan, 2008: 66). Modelin matematiksel gösterimi Eşitlik (2)'deki gibidir:

$$x_t = \phi_0 + \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \ldots + \phi_p x_{t-p} + a_t \tag{2}$$

2.2. Hareketli Ortalamalar (MA) Modelleri

Hareketli ortalamalar modelleri sonsuz mertebeli AR modelleri üzerinde yapılan değişiklerle elde edilir. Buna göre AR modelinin karakteristik kökleri mutlak değerce 1'den büyük olduğu sürece AR modelleri sonsuz mertebeden MA modelleri olarak, MA modelleri de sonsuz mertebeden AR modelleri olarak ifade edilir (Pfaff, 2008: 11). MA modelinin mertebesi genellikle q ile gösterilir. Buna göre MA(q)'nun gösterimi Eşitlik (3)'teki gibi olacaktır.

$$x_t = c_0 + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \ldots - \theta_q a_{t-q} \tag{3}$$

2.3. Otoregresif Hareketli Ortalamalar (ARMA) Modeli

Zaman serilerinin sadece AR veya sadece MA süreçlerine ait özellikleri sergilememesi durumunda yani serinin hem AR hem de MA süreçlerine ait özellikler taşıması durumunda oluşturulacak modelde hem AR hem de MA modellerinin bir arada bulunması gerekmektedir. Bu şekildeki modeller otoregresif hareketli ortalamalar süreci veya karma otoregresif hareketli ortalamalar modeli olarak isimlendirilir (Akgül, 2003: 86). Böyle bir model ARMA(p, q) olarak gösterilmektedir.

$$x_t = \phi_0 + \sum_{i=1}^{p} \phi_i x_{t-i} + a_t - \sum_{i=1}^{q} \theta_i a_{t-i} \tag{4}$$

2.4. Model ve Mertebe Belirleme

Zaman serileri üzerine analiz yapılırken bazı durumlarda hangi model türünün ya da hangi modelin hangi mertebeden seçileceği konusunda kararsızlık yaşanabilir. Ekonometriciler doğru modeli kurabilmek için bir modelde hangi değişkenlerin önemli olduğunu, bir modelin nasıl seçilebileceğini sorarlar. Bu sorulara cevap aslında Box ve Jenkins tarafından öne sürülen cimrilik prensibiyle (the principle of parsimony) yani en az değişken kullanılması şeklinde verilmiştir (Ucal, 2006: 42). Model ve mertebe belirleyebilmek için faydalanılan teknikler kısmi otokorelasyon fonksiyonları ve bilgi kriterleridir.

Kısmi otokorelasyon fonksiyonu: Otokorelasyon fonksiyonları AR modellerinde üstel olarak azalmakta, MA modellerinde ise belirli bir yerden sonra kesilmektedir. Bu durumda kesilmenin yaşandığı gecikme MA modelinin mertebesi olarak belirlenir; ancak AR modellerinde belirgin olarak bir kesilme yoktur. Bu fonksiyonların MA modellerinin mertebelerini belirlemek için yardımcı oldukları söylenebilir; ancak AR modellerinin mertebelerini belirlemede faydalı oldukları söylenemez. Kısmi otokorelasyon fonksiyonu, $x_{t-1}, \ldots, x_{t-\ell+1}$'den arındırıldıktan sonra x_t ile $x_{t-\ell}$ arasındaki otokorelasyondur (Montgomery et al., 2008: 249).

Bilgi Kriterleri: Bilgi kriterleri ile model uygunluğunun kalitesi ölçülmektedir. En sık kullanılan bilgi kriterleri Akaike Bilgi Kriteri, Schwarz Bilgi Kriteri ve Hannan-Quinn Bilgi Kriteridir.

3. Bulanık Mantık ve Bulanık Zaman Serileri

Bulanık mantık, bulanık küme teorisi ile kesin olmayan önermeler hakkında yaklaşık olarak akıl yürütmeyi amaçlayan bir mantık türüdür (Chen ve Pham, 2000: 66). Bulanık mantık

1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından çıkarılan bir makale ile dünyaya duyurulmuştur.

Bulanık kümeler, üyelik kriterlerinin yeterli olmadığı, yeterince tanımlanmamış nesneler kümesidir (Paksoy ark., 2013: 5). Herhangi bir X evrensel kümesi içinde tanımlanmış A bulanık kümesi, kendisini X içindeki her noktada [0,1] aralığındaki reel sayılarla ifade eden bir $f_A(x)$ (literatürde daha çok $\mu_A(x)$ ile gösterilmektedir) üyelik fonksiyonu ile nitelendirilir. Bu fonksiyonun değeri x elemanının A kümesine olan üyeliğinin derecesini göstermektedir. Üyelik derecesi 1'e yaklaştıkça x elemanının A kümesindeki üyeliği artmaktadır (Zadeh, 1965: 339).

Bulanık bir küme Eşitlik (5)'teki gibi ikili çiftler halinde gösterilir. Burada A bulanık kümeyi, $\mu_A(x)$ x elemanının A kümesine olan üyeliğinin [0,1] aralığındaki derecesini ifade eden üyelik fonksiyonunu göstermektedir. Üyelik derecesi [0,1] aralığında herhangi bir reel sayı değerini alabilmektedir ve üyelik derecesi 1'e yaklaştıkça o elemanın kümeye üyeliği artmaktadır.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in A, \mu_A(x) \in [0,1]\} \quad (5)$$

Bulanık zaman serileri ilk olarak 90'lı yılların başında Song ve Chissom tarafından tanıtılmıştır. Bulanık mantığın, bulanık akıl yürütme, bulanık denetim, bulanık doğrusal regresyon alanlarında başarılı uygulamaları olmasına karşılık zaman serileri alanında bir uygulama bulunmayışı yazarları bu alanda çalışmaya itmiştir. Bulanık zaman serisi kavramının temeli olan çalışmada, Amerika'daki Alabama Üniversitesi'ne kayıt olan öğrenci verileri kullanılarak, kayıtların tahmini için bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır (Song ve Chissom, 1993a: 2).

$Y(t) \in R$ $(t = 0,1,2,\dots)$'nin bir zaman serisi olduğu ve $f_i(t)$'nin bu zaman serisi içerisinde bir bulanık küme olduğu varsayıldığında, $F(t) = \{f_1(t), \dots\}$bir bulanık Y(t) üzerinde tanımlanmış bir zaman serisi olur. F(t)'nin yalnızca F(t-1)'den etkilendiği varsayılmaktadır. Bu nedenle $F(t) = F(t-1) o R(t, t-1)$ ilişkisinde $R(t, t-1)$'e bulanık ilişki denir. Bu ilişki farklı t1 ve t2 değerleri için $R(t_1, t_1 - 1) = R(t_2, t_2 - 2)$ ise F(t) zamandan bağımsız (time-invariant) bulanık zaman serisi olarak; aksi takdirde zamana bağımlı (time-vaiant) bulanık zaman serisi olarak isimlendirilir. (Song ve Chissom, 1993b: 270-272). F(t) yalnızca F(t-1)'den etkilendiği için birinci mertebeden bir zaman serisi modeli olmaktadır. Önerilen bu modelde tahmin yapabilmek için gerekli en önemli unsurlardan birisi $R(t, t-1)$ bulanık ilişkisidir. Örneğin t anı için bir tahmin yapılmak isteniyorsa ve t-1, t-2, … , t-w (w>1) değerleri biliniyorsa $R(t, t-1)$ bulanık ilişkilerin birleşimi şeklinde bulunacaktır. Bu ilişki Eşitlik (6)'da gösterildiği gibidir (Song ve Chissom, 1994: 2).

$$R^w(t, t-1) = f^T(t-2) \times f(t-1) \cup \dots \cup f^T(t-w) \times f(t-w+1) \quad (6)$$

Bulanık ilişkileri gösteren Eşitlik (6)'da w modelin parametresidir, f(t) zaman serisinin t anındaki değerini, $\times$ kartezyen çarpımını ve T ise transpoz işlemini göstermektedir. Modeldeki w parametresi bulanık ilişkileri tayin edebilmek açısından son derece önemlidir. Bu parametrenin değeri büyüdükçe yapılması gereken matematiksel işlem miktarı artacağından ve de aynı zamanda karmaşıklaşacağından model için dezavantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle literatürde işlem yükünden kurtulmak için çeşitli yöntemler öneren çalışmalar bulunmaktadır.

Bulanık bir zaman serisiyle tahmin süreci genel olarak aşağıda gösterildiği gibidir (Song ve Chissom, 1994: 2):

- Bulanık kümelerin tanımlanacağı U evrensel kümesi tanımlanır.
- Tanımlanan U evrensel kümesi eşit uzunluktaki aralıklara bölünür.
- Bulanık kümeler tanımlanır.
- Bulanık ilişkiler belirlenir.
- Elde edilen çıktılar, tahmin değerleri tatmin edici ise durulaştırılarak tahmin değerleri elde edilir.

Üniversiteye kayıt olan öğrenci verilerine ait minimum ve maksimum değerler bulunarak keyfi pozitif iki sayı ile bir evrensel küme tanımlanır. Dmin en küçük kayıt sayısını, Dmax ise en büyük kayıt sayısını göstermek üzere evrensel küme $U = [D_{min} - D_1, D_{max} + D_2]$ şeklinde belirlenir ve daha sonra evrensel küme eşit uzunluktaki aralıklara bölünür. Aralıkları belirleme işleminin ardından dilsel değişkenlerin üyelik derecelerini gösteren bulanık kümeler tanımlanır. U evrensel kümesindeki bulanık kümeler aşağıda gösterildiği gibidir (Song ve Chissom, 1993a: 4).

$$\begin{aligned} A_1 &= a_{11}/u_1 + a_{12}/u_2 + \dots + a_{1m}/u_m \\ A_2 &= a_{21}/u_1 + a_{22}/u_2 + \dots + a_{2m}/u_m \\ &\vdots \\ A_k &= a_{k1}/u_1 + a_{k2}/u_2 + \dots + a_{km}/u_m \end{aligned} \quad (7)$$

Eşitlik (7)'de aij, uj aralığının Ai bulanık kümesindeki üyelik derecesini göstermektedir.

3.1. Chen'in Önerdiği Yöntem

Chen, 1996 yılında yayınlanan çalışmasında Song ve Chissom'un geliştirdiği modeldeki bulanık ilişkilerin hesaplanmasının zor ve oldukça fazla işlem yükü getirdiğini belirterek yeni bir yöntem önermiştir. Chen çalışmasında Song ve Chissom ile aynı verileri kullanıp, kendi önerdiği yöntemi modele dahil ederek tahmin değerlerini elde etmeye çalışmıştır ve modelin sağlamlığını (robustness) test etmiştir. Bulanık ilişkileri incelemek için önerilen yöntem şu şekildedir (Chen, 1996: 312-317):

- Yıllara göre kayıt sayıları bulanıklaştırıldıktan sonra kayıt dönemleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi gerekmektedir. Örneğin $A_j \rightarrow A_k$, i yılındaki kayıt sayısının Aj, i+1 yılındaki kayıt kayısının Ak olduğunu gösteren bulanık ilişkidir.
- İlişkiler belirlendikten sonra, gruplandırma bulanık ilişkinin sol yanı i yılına göre yapılır. Tahmin değerleri için gruplandırılmış bu ilişkiler kullanılmaktadır.
- Eğer i yılı için bulanıklaştırılmış kayıt sayısının bulanık kümesi Aj ise ve gruplandırılmış bulanık ilişkiler tablosunda tek bir ilişki varsa $A_j \rightarrow A_k$ için Aj ve Ak bulanık kümeler, Ak bulanık kümesi için maksimum üyelik derecesinin aralığı uk ve bu aralığın orta noktası mk olmak üzere, i+1 yılı için tahmin edilen değer mk olacaktır.
- Eğer birden fazla ilişki varsa; bulanık ilişkilerin sağ yanındaki bulanık kümelerin en büyük üyelik derecesine sahip olacağı aralıkların orta noktalarının aritmetik ortalaması i+1 yılı için tahmin edilen değer olacaktır.

3.2. Hwang vd.nin Önerdiği Yöntem

Hwang vd. 1998 yılında yayınlanan çalışmalarında kendilerinden önce yayınlanan çalışmaların işlem hızını arttırmaya yönelik gelişmeler sunduğunu belirtmişlerdir. Hwang vd. çalışmalarında geçmiş verilerdeki değişimin tahmin değerlerinde de bir değişime neden olabileceğini belirtip, tahminler için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir.

Yazarlar, geliştirdikleri yöntemde t yılı için kayıt sayısının x, t-1 yılı için kayıt sayısının y olduğunu kabul ederek, t ile t-1 yılı arasındaki kayıt sayındaki değişimin x-y olduğunu belirterek değişimlerin incelenmesi için sezgisel kurallar geliştirmişlerdir.

Bu kurallara göre, ilk olarak bu yıl ile bir önceki yılın kayıt sayıları arasındaki değişim, bu yıl ile geçmiş yıllar arasındaki değişime bağlıdır. Bu yılın ve bir önceki yılın kayıt sayıları arasındaki ilişki, bu yıl ile geçmiş yıllar arasındaki ilişkiden daha yakındır. İkinci olarak, kayıt sayıları geçmiş yıllarda artış eğilimindeyse bu yıl da artış eğiliminde olacaktır. Tam tersi olarak geçmiş yıllarda bir azalış eğilimi varsa bu yılın kayıt sayısında da bir azalış trendi olacaktır. Eğer değişimler arasındaki eğilim çok net değilse bu problem başka bir kural ile çözülmektedir. Bu kural Song ve Chissom'un bulanık kümeler için önerdiği çok değil, çok çok değil vb. dilsel değişkenler yerine büyük azalış, azalış, artış, çok büyük artış gibi dilsel değişkenler kullanarak bulanık kümeler oluşturmaktır. Tahmin değerleri hesaplanırken kaç yıla ait verilerin kullanılacağına karar verilmesi gerekmektedir. Örneğin w tane yılın verisi kullanıldığında bir önceki yılın verisindeki değişim kriter matrisini, diğer yıllardaki değişim işlem matrisini oluşturur. t yılı için kriter matrisi C(t) ile, işlem matrisi ise Ow(t) ile gösterilir (Hwang et al., 1998: 220).

$$C(t) = F(t-1) = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_m \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$O^w(t) = \begin{bmatrix} F(t-2) \\ F(t-3) \\ \dots \\ F(t-w-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_{11}\ O_{12} \dots O_{1m} \\ O_{21}\ O_{22} \dots O_{2m} \\ \dots\ \dots\ \dots\ \dots \\ O_{w1}\ O_{w2} \dots O_{wm} \end{bmatrix} \quad (9)$$

İlişki matrisi, C(t) ile Ow(t)'nin çarpılmasıyla bulunur. Bu işleme göre ilişki matrisi Eşitlik (10)'da gösterildiği gibidir.

$$R(t) = \begin{bmatrix} O_{11}xC_1\ O_{12}xC_2 \dots O_{1m}C_m \\ O_{21}xC_1\ O_{22}xC_2 \dots O_{2m}C_m \\ \dots\ \dots\ \dots\ \dots \\ O_{w1}xC_1\ O_{w2}xC_2 \dots O_{wm}C_m \end{bmatrix} \quad (10)$$

İlişki matrisinden geçmiş yıl ile daha önceki yıllar arasındaki değişim ilişki bulunabilir. Buna göre t yılı için tahmin değişimleri Eşitlik (11)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$F(t) = [Max(R_{11,\dots,}R_{w1}), \dots, Max(R_{1m,\dots,}R_{wm})] \quad (11)$$

İlişki matrisi hesaplandıktan sonra önerilen yöntem şu şekildedir (Hwang et al., 1998: 221-224):

- Daha önceki yöntemlerde olduğu gibi bir evrensel küme tanımlanır; ancak burada farklı olarak evrensel küme artışların en küçüğü ile en büyüğüne göre belirlenmektedir. $U = [D_{min} - D_1, D_{max} + D_2]$ eşitliğinde Dmin en küçük artışı, Dmax ise artışların en büyüğünü göstermektedir.
- Aralıklar belirlendikten sonra değişim değerlerinin bulanıklaştırılması gerekmektedir. Bulanık kümeler kayıt sayısındaki değişime göre isimlendirilmektedir. Örneğin A1 büyük azalış, A2 azalış, A3 değişim yok, A4 artış, A5 büyük artış, A6 çok büyük artış durumları için kullanılmıştır.
- Herhangi bir dönem için tahmin yapılmak istenildiğinde kaç dönemlik geçmiş veriden faydalanılacağına karar verildikten sonra ilişki matrisi hesaplanır. Hesaplanan ilişki matrisinin sütunlarındaki en büyük değerler tahmin değerinin ait olduğu evrensel küme aralıklarını vermektedir. Daha önceki yöntemlerde olduğu gibi bu aralıkların orta noktalarının ortalamaları tahmin değerini vermektedir. Hwang vd.nin yönteminde değişimler incelendiğinden tahmin edilen değer değişim miktarıdır. Tahmin yapılmak istenen yılın değerini bulmak için bir önceki yılın değerine tahmin edilen değişim değerini eklemek gerekmektedir.

3.3. Chen'in Önerdiği Yüksek Mertebeli Yöntem

Chen 2002 yılında yayınlanan çalışmasında, birinci mertebeden modellerin tahmin işlemlerinde yeterli olmadığını, daha yüksek mertebeden modellerin bu konuda daha iyi sonuçlar vereceğini belirterek, yüksek mertebeden bulanık zaman serisi modelleri için yeni bir yöntem önermiştir

F(t) zaman serisi eğer F(t-1), F(t-2),…, F(t-n) değerlerinden etkileniyorsa bu zaman serisine n. mertebeden zaman serisi denir. Bu zaman serileri arasındaki bulanık ilişki şu şekilde gösterilir (Chen, 2002: 3):

$$F(t-n),...,F(t-2),F(t-1) \rightarrow F(t) \quad (12)$$

Yüksek mertebeden zaman serileri modellenirken daha önceki yöntemlerde olduğu gibi bir evrensel küme seçilir ve daha sonra bu küme parçalara ayrılır. Chen'in önerdiği yeni yöntemde daha yüksek mertebeden bir model söz konusu olduğunda bulanık ilişkiler bu mertebeye göre belirlenir. Örneğin üniversiteye kayıt verileri 2. mertebeden bir bulanık zaman serisi olacak şekilde modellenirse bulanık ilişkiler $A_{j1}, A_{j1} \rightarrow A_k$ şeklinde olacaktır. İkili bulanık ilişkiler bulunduktan sonra bu ilişkilerin gruplandırılması gerekmektedir. Eğer gruplandırılmış ilişkiler listesinde ilişki olmayan bir grup varsa sıfır anlamındaki # sembolü kullanılır (Chen, 2002: 6).

İlişkiler gruplandırıldıktan sonra tahmin değerleri hesaplanabilir. Tahmin değerlerinin hesaplanmasında Chen aşağıdaki kuralların kullanılacağını belirtmiştir (Chen, 2002: 9-10):

- Eğer i yılı için k. mertebeden bulanıklaştırılmış kayıt sayıları Aik, Ai(k-1), …, Ail ise k. mertebeden bulanık ilişkiler $A_{ik}, A_{i(k-1)}, \dots, A_{il} \rightarrow A_j$ şeklinde gösterilir. Bu durumda Aj'nin maksimum üyeliği uj aralığındadır ve bu nedenle tahmin değeri bu aralığın orta noktasına eşittir.
- Eğer i yılı için k. mertebeden bulanıklaştırılmış kayıt sayıları Aik, Ai(k-1), …, Ail ise k. mertebeden bulanık ilişkiler şu şekilde olabilir:

$$A_{ik,}A_{i(k-1)},...,A_{il} \rightarrow A_{j1}$$
$$A_{ik,}A_{i(k-1)},...,A_{il} \rightarrow A_{j2}$$
$$\vdots$$
$$A_{ik,}A_{i(k-1)},...,A_{il} \rightarrow A_{jp}$$

Böyle bir durumun söz konusu olması halinde i yılı için yapılacak tahmin değerinde bir belirsizlik bulunmaktadır. Bu sorunu gidermek için Chen daha yüksek mertebeden bir model kurulmasını önermiştir. m>k için kurulan yeni m. mertebeden modelde bulanık ilişki $A_{im}, A_{i(m-1)}, \dots, A_{il} \rightarrow A_j$ şeklinde ise bu modelde Aj kümesinin maksimum değeri uj aralığında olduğundan tahmin değeri bu aralığın orta noktasına eşittir.

- Eğer k. mertebeden bir modelde i yılı için bulanık ilişkilerin sağ tarafı $A_{ik}, A_{i(k-1)}, \dots, A_{il\rightarrow}$ şeklinde boş ise ilişkisinin sol tarafındaki Aik,..., Ail kümelerinin en büyük değerlerini aldıkları aralıklar, uik,..., uil ve bunların orta noktaları mik,..., mil'dır. Bu durumda tahmin değeri Eşitlik (13)'te gösterildiği gibidir.

$$\frac{1\times m_{ik} + 2\times m_{i(k-1)} + \dots + k\times m_{il}}{1+2+\dots+k} \qquad (13)$$

Burada, hesaplamalarda kullanılacağı için detaylı olarak incelenen üç yöntem dışında bulanık zaman serileri ile ilgili birçok çalışma vardır. Literatürde, aralık belirlemek için yapay arı koloni algoritması temelli bulanık zaman serileri (Egrioglu et al., 2014), yapay sinir ağları kullanarak yüksek dereceli bulanık zaman serisi ile Türkiye için enflasyon öngörüsü (Uslu ark., 2012), bir çimento firmasının dönemsel satışlarının tahmininde bulanık zaman serilerinin karşılaştırılması (Sofyalıoğlu ve Öztürk, 2013), farklı parametreli iki aşamalı bulanık zaman serileri modelleri ile jet yakıtı üretimi tahmini (Ecerkale et al., 2010), bulanık zaman serilerinde aralık belirlemede dağılım ve ortalama temelli model önerisi (Huarng, 2001), TAIEX indeks tahmininde ağırlıklandırılmış bulanık zaman serisi önerisi (Yu, 2005), genetik algoritma ve yüksek mertebeli bulanık zaman serileri modeli ile üniversite kayıt sayısı (Chen ve Chung, 2006) ve yüksek mertebeli modelde hesaplama yükünü hafifletmek için yapay sinir ağlarının bulanık zaman serileri ile kullanımı (Huarng ve Yu, 2006) vb. uygulamaya ve teoriye yönelik çalışmalar bulunmaktadır.

4. Talep Tahmini

Müşterilerin ihtiyaçlarının en ekonomik seviyede karşılanabilmesi yönetim tarafından ciddiyetle ele alınması gereken bir konudur. Müşterilerin ihtiyaç duydukları mal ya da hizmetlere istedikleri zamanda ulaşabilmeleri gerekmektedir. İşletmeler müşterilerinin isteklerini karşılayabilmek için çok fazla üretim yapıp bunların bir kısmını stok olarak bekletirse stok maliyetleri ile karşılaşmaktadır. Eğer bir işletmede yeterince üretim yapılmaması nedeniyle müşteriler ihtiyaçlarını rakip işletmelerden karşılıyorsa, bu işletme müşteri kaybı ile ilgili maliyetlerle karşılaşmaktadır. Stok maliyetleri ölçülebilir; müşteri kaybı ile ilgili maliyetler ölçülemez olduğundan işletmeler ürettikleri mal ya da hizmetlere olan talepleri iyi bir şekilde yönetmesi gerekmektedir.

Bir işletmede yapılan tahmin işlemleri kullanım amacına, ürün cinsine, zaman aralığına ve hesaplama türüne göre sınıflandırılabilirler. En sık yapılan sınıflandırma türü tahmin işleminin yapıldığı zaman aralığına göre sınıflandırmadır. Zaman aralığına göre sınıflandırılmış tahmin tipleri şu şekildedir (Kobu, 2010: 111-112):

- Çok kısa vadeli tahminler: Günlük ya da haftalık olarak stok kontrolü veya montaj hattı iş programlarının hazırlanması için kullanılırlar.
- Kısa vadeli tahminler: Yaklaşık olarak 6 aylık bir süre için kullanılırlar. İmal edilecek optimum parti büyüklüğü, tedarik süresi ve makinelere iş atama vb. konularda kullanılırlar.
- Orta vadeli tahminler: 6 ay ile 5 yıl arasında değişen bir süre için kullanılırlar. Tedarik süresi uzun ya da bilinmeyen malzeme alımlarında, üretim süreci karmaşık olarak ürünlerin üretiminin planlanmasında ve talebi mevsimsel olan ürünlerin stoklanması için kullanılır.
- Uzun vadeli tahminler: 5 yıldan uzun dönemli planlamalar için kullanılırlar. Tesislerin genişletilmesi, yeni makineler alınması gibi yatırım amaçlı konularda kullanılırlar.

İşletme yöneticileri, işletmenin özel sektöre ya da kamuya ait olmasına bakmaksızın geleceği tahmin etme ihtiyacı duymaktadır. Örneğin satın alma biriminin yöneticileri üretim düzeyini, dolayısıyla ihtiyaç duyulacak malzeme düzeyini ve maliyetlerini bilmek isterler. Bir işletmede yapılan tahmin çalışmaları, o işletmenin büyümesine ve gelişmesine katkı sağlayacaktır; çünkü işletmenin içinde bulunduğu belirsizliğin azalmasından dolayı toplam maliyetlerde bir azalma söz konusu olacaktır (Tanyaş ve Baskak, 2013: 71).

Talep tahmini yapan bir işletmede süreç ile ilgili olarak sorulacak ilk sorulardan birisi "Hangi veriler talep tahminlerinde kullanılacaktır?" sorusudur. Bu soruya cevap olarak verilecek veriler iki farklı şekilde elde edilebilir. Birinci yol, işletmenin satış biriminden elde edilebilecek kaynaklar ve araştırma sonuçlarıdır. İkinci yol ise, piyasada bu amaçla kurulan dış kaynaklardan faydalanmaktır (Demir ve Gümüşoğlu, 2003: 495).

Talep tahmini, belirsizlikler içeren bir süreçtir. Bu belirsizlik gelecekte ne olacağının tam olarak bilinememesinden kaynaklanmaktadır. İşletmelerin yöneticileri ise artan zorluklara rağmen yapılan tahminlerin mümkün olduğunca az hataya sahip olmasını istemektedirler. Dünyadaki küreselleşme akımı nedeniyle müşteriler, teknolojinin de yardımıyla ürünler hakkında daha fazla bilgi sahibi olmaktadırlar ve daha farklı ürün çeşitliliği talep etmektedirler. Bu durumun bir sonucu olarak da bilgi çeşitliliği nedeniyle müşterilerin ürün seçimlerindeki değişken tercihleri talep tahminlerini zorlaştırmaktadır. İşletmeler bu koşullar altında kullandığı talep tahmini yöntemlerini nitel ve nicel talep tahmin yöntemleri şeklinde iki gruba ayırmaktadırlar (Russell ve Taylor, 2011: 496).

Nitel talep tahmin yöntemleri genellikle yeterli veri olmadığında, uzun dönemli tahminlerde ve henüz geliştirilmemiş teknolojiler için gelecek karmaşık müşteri talepleri söz konusu olduğunda kullanılırlar. Başka bir deyişle nicel talep tahmin yöntemleri kullanılamadığı durumlarda nitel talep tahmin yöntemleri kullanılmaktadır (Leseure, 2010: 231). Tahmin ediciler, nitel talep tahmin yöntemlerinde öznel değerlendirmeler yaptığından bu yöntemler yargısal yöntemler olarak da isimlendirilir. Talep tahminleri işletmeler için hayati konular olduğundan nitel yöntemleri kullanacak kişilerin eğitimli ve de tecrübeli olması gerekmektedir. Nicel talep tahmin yöntemleri ise matematiksel temeli olan modellerdir. Bu yöntemler matematiksel işlemler içermesi nedeniyle nesnel sonuçlar vermektedir. Örneğin, nicel talep tahmin yöntemleri aynı veriler için her zaman aynı sonucu vermektedirler; ancak nitel yöntemler öznel olduklarından farklı zaman noktalarında farklı sonuçlar verebilmektedirler (Reid ve Sanders, 2011: 267-268).

Talep tahminlerinde kullanılan nitel yöntemler, Delphi yöntemi, pazar araştırması, yönetici görüşleri ve satış ekibi

tahmini gibi tekniklerden oluşmaktadır; nicel yöntemler ise nedensel yöntemler (regresyon analizi), yalın yöntem, hareketli ortalamalar yöntemi, üstel düzgünleştirme yöntemi ve trend analizi gibi tekniklerden oluşmaktadır. Bu çalışmada nicel yöntemlerden yararlanıldığı için sadece bu yöntemler incelenmiştir.

4.1. Nedensel Yöntemler

Nedensel yöntemlerde, talebin bir takım değişkenlerden etkilendiği varsayılmaktadır. Bu nedenle nedensel yöntemler veri olarak geçmiş dönemlere ait talep ve talebin etkilendiği düşünülen diğer değişkenlerin bilgileri kullanmaktadır (Üreten, 2002: 129).

Bir regresyon modelinde bağımlı değişken ile bağımsız değişkenin doğrusal bir ilişkiye sahip olduğu varsayıldığında modelin denklemi Eşitlik (14)'te gösterildiği gibi olacaktır (Lewis-Beck, 1980: 9).

$$y = a + bX \tag{14}$$

Eşitlik (14)'te verilen ifade en küçük kareler yöntemi ile a ve b için ayrı ayrı çözüldüğünde, bu parametreler Eşitlik (15) ve Eşitlik (16)'da gösterildiği gibi elde edilir.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i (x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2} \tag{15}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \tag{16}$$

4.2. Yalın Yöntem

Yalın yöntemin temel varsayımı gelecek ile bugün arasında bir fark olmamasıdır yani bugünden geleceğe hiçbir şey değişmeyecektir. Bu nedenle yalın yöntemde, son dönemde gerçekleşen talep bir sonraki dönemde tahmin değeri olarak kullanılmaktadır. F_{t+1}, t+1. dönemin tahmin değeri; xt, t döneminde gerçekleşen talep olmak üzere yöntem matematiksel olarak Eşitlik (17)'de gösterildiği gibidir (Yücesoy, 2011: 15).

$$F_{t+1} = x_t \tag{17}$$

4.3. Hareketli Ortalamalar Yöntemi

Hareketli ortalamalar yöntemi geçmiş dönem talep verisindeki rastgele iniş ve çıkışları azaltarak bir dönem için tahmin değerinin elde edilebilmesini sağlamaktadır. Hareketli ortalamalar yöntemi durağan olduğundan ve de talep davranışı olarak ifade edilen trend ve mevsimsellik özelliklerini taşımadığından faydalı sonuçlar veren bir yöntemdir (Russell ve Taylor, 2011: 504). Hareketli ortalamalar yöntemi çeşitli dönemler için verileri eşit ağırlıklandırarak tahmin değerini hesaplamaktadır. Hareketli ortalamalar yöntemi kullanılarak elde edilen tahmin değeri Eşitlik (18)'de gösterildiği gibidir (Evans, 2003: 198).

$$F_t = \frac{\sum_{i=0}^{m} x_{t-i}}{m+1} \tag{18}$$

4.4. Üstel Düzgünleştirme Yöntemi

Hareketli ortalamalar yönteminin iki önemli eksikliği bulunmaktadır. Bunlardan birincisi hesaplama için kullanılan önceki n dönemlik periyoda eşit ağırlık verilmesidir (Bu sorun ağırlıklı hareketli ortalamalar yöntemi ile aşılabilmektedir). İkinci eksiklik ise yöntemin, hareketli ortalamaların hesaplandığı n dönemden ötesinin verisini kullanmamasıdır. Üstel düzgünleştirme yöntemi ile bu iki sorundan basit hesaplamalarla kurtulmak mümkündür. Bu yöntemle elde edilen tahmin değeri bir önceki döneme ait gerçekleşen talep ile tahmin edilen talep kullanılarak hesaplanmaktadır. Yöntem hesaplamalarını Eşitlik (19)'a göre yapmaktadır (Slack et al., 2007: 181).

$$F_t = \alpha x_{t-1} + (1-\alpha) F_{t-1} \tag{19}$$

4.5. Trend Analizi

Trend analizi yöntemi, tek değişkenli doğrusal regresyon yöntemine oldukça benzeyen bir modeldir. Bu modelin tek farkı bağımsız değişkenin talep verilerinin ölçüldüğü zaman noktalarının olmasıdır. Regresyon modelinin tüm varsayım ve özellikleri trend analizi yönteminde de sağlanmaktadır (Kobu, 2010: 127).

4.6. Tahmin Hatalarının Analizi

Bir işletmedeki karar vericiler talep tahmini yapabilmek için hangi yöntemi kullanırsa kullansınlar gelecek dönemlerde gerçekleşecek talebi kesin bir şekilde tahmin edemezler. Bu nedenle de talep tahmini için uygulanan her yöntem değişen miktarlarda tahmin hatasına sahip olacaktır. İşletmeler talep tahmini için kullanacakları yöntemi seçerken tahmin hatalarını analiz ederek en doğru yöntemi belirleyebilirler. Bu amaçla hatasız bir yöntem mevcut bulunmadığından; en az hataya sahip yöntem en iyi yöntem olarak değerlendirilmektedir. Bu amaçla tahmin hatalarının analizi için kullanılan teknikler şu şekildedir:

<u>*Ortalama mutlak hata:*</u> Ortalama mutlak hata (MAD) yönteminde tahmin hatalarının mutlak değerleri toplanarak aritmetik ortalamaları hesaplanmaktadır. Ortalama mutlak hata, standart sapma gibi beklenen değerden ayrılımları ölçtüğünden önemli bir yöntemdir. Bir veri grubuna ait ortalama mutlak hata Eşitlik (20)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Jacobs ve Chase, 2008: 264).

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^{n} |e_i|}{n} \tag{20}$$

<u>*Hata kareleri ortalaması:*</u> Hata kareleri ortalaması (MSE), tahmin hatalarının karelerinin toplamının gözlem sayısına bölünmesi ile bulunmaktadır. Yöntem, gerçekleşen talepten sapmaların karelerini aldığından tahmin değerlerinin çok yüksek olduğu durumlarda abartılı sonuçlar vermektedir. Tahmin hatalarının küçük olduğu durumlarda kullanılması gereken bir yöntemdir. Yöntem, Eşitlik (21)'de gösterildiği gibi hesaplama yapmaktadır (Özer, 2009: 14).

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n} e_i^2}{n} \tag{21}$$

<u>*Ortalama mutlak yüzde hata*</u>: Ortalama mutlak yüzde hata (MAPE), her bir dönem için tahmin hatasının gerçekleşen tahmin değerine bölümünün toplamından oluşmaktadır. Daha sonra bulunan değerler 100 ile çarpılarak yüzdelik değerlere dönüştürülür (Frechtling, 2001: 26). Ortalama mutlak yüzde hata, ortalama mutlak hata yöntemine benzemektedir; ancak ortalama mutlak yüzde hata yönteminin elde ettiği değerler

boyutsuz olduğundan yorumlaması daha kolaydır. Yöntemin hesaplamalarını Eşitlik (22)'de gösterildiği gibi yapmaktadır (Chase Jr, 2013: 113).

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}\frac{|e_i|}{x_i}\times 100 \qquad (22)$$

5. Uygulama

Bu çalışmada işletme literatüründe talep tahmini yapmak için sıklıkla kullanılan nicel yöntemlerden regresyon analizi, yalın yöntem, hareketli ortalamalar, üstel düzgünleştirme ve trend analizi gibi yöntemlerden farklı olarak bulanık mantık ve zaman serileri kavramlarının birlikte kullanılmasıyla elde edilmiş olan bulanık zaman serileri ile de talep tahmini yapılabilmesi amaçlanmıştır.

İşletme yöneticileriyle görüşme yoluyla elde edilen nicel veriler teorik olarak bahsedilen yöntemler kullanılarak çıktılara dönüştürülmüştür ve tahmin hataları analiz edilerek işletmenin verilerine en uygun yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. Bu sayede işletmeler, çok kritik bir faaliyet olan talep tahminlerini hem daha doğru bir şekilde yapabilecektir hem de bu süreç bilimsel bir temele oturtulmuş olacaktır. Hesaplamalarda kullanılan yöntemler önceki bölümlerde ilgili başlıklar altında tanıtılmıştır. Talep tahmini hesaplamaları için Microsoft Excel 2013, QM for Windows V4 ve R programlarından faydalanılmıştır. Tahmin yapılan dönem 2011 ile 2015 yılları arasını kapsamaktadır (Öztaş, 2015: 101).

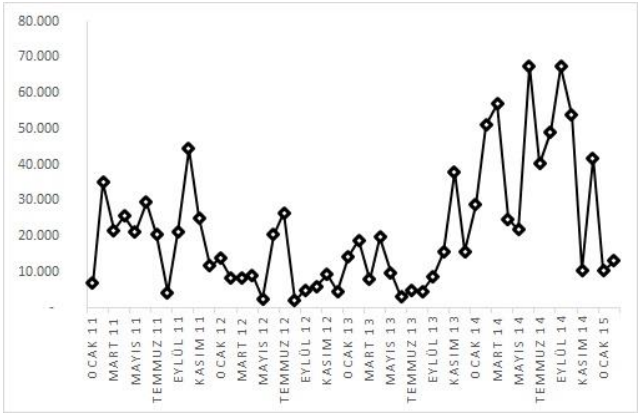
Bulanık zaman serisi yöntemleri ile uygulama yapılırken Chen'in (1996; 2002) önerdiği iki yöntem ile Hwang vd.nin (1998) önerdiği yöntem kullanılmıştır. Literatürde daha farklı yöntemler bulunmasına rağmen bu üç yöntem diğer çalışmalara temel oluşturduğundan uygulama bu yöntemlerle sınırlandırılmıştır. Yöntemlerin performansı hakkında yorum yapabilmek için literatürdeki yöntemler incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda referans yöntemlerde ve sadece bu yöntemleri kullanan çalışmalarda modeller ile elde edilmiş bütün değerlere göre karşılaştırmalar yapıldığı görülmüştür. Yapay Sinir ağları, genetik algoritmalar gibi yapay zekâ yöntemlerinden faydalanılan çalışmalarda, eğitim ve test kümeleri oluşturulduğu ve önerilen yöntemlerin performansının sadece test kümelerine göre karşılaştırdığı görülmüştür. Bu çalışmada sadece referans olarak alınmış temel yöntemlerden faydalanıldığı ve bu modeller yapısal olarak bütünsel incelemeyi gerektirdiği için eğitim ve test kümeleri kullanılmamıştır.

Bir işletme talep tahmini yaparken kullanacağı verileri ne kadar düzgün tutarsa, tahmin performansı da uygun yöntemin kullanılmasıyla birlikte o kadar yüksek olmaktadır. Çalışmada kullanılan verilerin kurumsal olarak yönetilen bir işletmeden elde edilmiş olması nedeniyle doğruluk açısından şüphe taşımamaktadır. İşletme yetkilileri ile yapılan görüşmede parti üretimi yapılan bir ürün için talep tahmini yapmanın, sipariş üzerine üretilen özel bir ürüne göre talep tahmini yapmadan daha doğru sonuçlar vereceği belirtildiğinden işletme çeşitli partiler halinde ürettiği bir bakır mamulüne ilişkin verileri sağlamıştır. Bu bakır ürününe ait talep miktarları aylık olarak kilogram cinsinden Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Bakır ürününe ilişkin talep verisi

	2011	2012	2013	2014	2015
Ocak	6.922	13.820	14.385	28.742	10.460
Şubat	35.095	8.223	18.969	51.124	13.240
Mart	21.670	8.318	7.897	57.006	
Nisan	25.646	9.114	19.833	24.884	
Mayıs	21.085	2.490	9.949	21.895	
Haziran	29.564	20.539	3.146	67.522	
Temmuz	20.421	26.547	4.961	40.229	
Ağustos	4.325	2.001	4.727	49.226	
Eylül	21.097	4.994	8.814	67.401	
Ekim	44.436	6.014	15.612	53.868	
Kasım	25.144	9.430	38.079	10.530	
Aralık	11.780	4.732	15.737	41.858	

Tablo 1'deki veriler kullanılarak elde edilmiş çizgi grafik, Şekil 1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. Talep verisine ilişkin grafik

Şekil 1 incelendiğinde verilerin değişkenliğinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bulanık zaman serilerini kullanarak tahmin yöntemleri öneren çalışmalarda kullanılan verilerin değişkenliği daha düşük olması nedeniyle, tahmin başarısını arttırabilmek adına dört dönemlik ortalama alınarak doğrusal bir filtreleme yapılmıştır. Bu şekilde elde edilen veriler Tablo 2'de gösterildiği gibidir. Hesaplamalar yapılırken dönüştürülmüş veriler kullanılmıştır.

Tablo 2. Dönüştürülmüş talep verisi

	2011	2012	2013	2014	2015
Ocak		25.614	6.293	19.561	43.414
Şubat		23.795	8.640	24.543	29.179
Mart		14.742	11.879	33.421	
Nisan		10.535	11.496	38.152	
Mayıs	22.333	9.869	15.271	40.439	
Haziran	25.874	7.036	14.162	38.727	
Temmuz	24.491	10.115	10.206	42.827	

Ağustos	24.179	14.673	9.472	38.633	
Eylül	18.849	12.894	5.696	44.718	
Ekim	18.852	13.520	5.412	56.095	
Kasım	22.570	9.889	8.529	52.681	
Aralık	23.751	5.610	16.808	45.256	

5.1. Chen'in Önerdiği Yöntemin Uygulanması

Chen'in 1996 yılında önermiş olduğu bulanık zaman serisi yöntemi ile tahmin değerlerini elde edebilmek için öncelikle bakır ürününe ait verilerin en büyük ve en küçük değerlerinden faydalanılarak evrensel küme belirlenmektedir. Gözlemlenen en küçük değer 5.412, en büyük değer ise 56.095 olduğundan $D_1 = 410, D_2 = 1.407$ keyfi pozitif tam sayıları için evrensel küme $U = [D_{min} - D_1, D_{max} + D_2]$ eşitliğine göre [5.002,57.502] olarak belirlenir. Bu evrensel küme aralık genişliği olarak seçilen 7.500 ile 7 aralığa bölündüğünde bu aralıklar aşağıda gösterildiği gibidir.

u_1=[5.002, 12.502]

u_2=[12.502, 20.002]

u_3=[20.002, 27.502]

u_4=[27.502, 35.002]

u_5=[35.002, 42.502]

u_6=[42.502, 50.002]

u_7=[50.002, 57.502]

Belirlenen aralıklar yardımıyla bulanık kümeler oluşturulduğunda A1 bulanık kümesi "çok aşırı değil", A2 bulanık kümesi "çok çok değil", A3 bulanık kümesi "çok değil", A4 bulanık kümesi "çok", A5 bulanık kümesi "çok fazla", A6 bulanık kümesi "çok çok fazla" ve A7 bulanık kümesi "çok aşırı fazla" dilsel değişkenleriyle ifade edilmektedir. Buna göre oluşturulan bulanık kümeler ve aralıklara ait üyelik dereceleri aşağıda gösterildiği gibidir.

$$A_1 = 1/u_1 + 0{,}5/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7$$
$$A_2 = 0{,}5/u_1 + 1/u_2 + 0{,}5/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7$$
$$A_3 = 0/u_1 + 0{,}5/u_2 + 1/u_3 + 0{,}5/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7$$
$$A_4 = 0/u_1 + 0/u_2 + 0{,}5/u_3 + 1/u_4 + 0{,}5/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7$$
$$A_5 = 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0{,}5/u_4 + 1/u_5 + 0{,}5/u_6 + 0/u_7$$
$$A_6 = 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0{,}5/u_5 + 1/u_6 + 0{,}5/u_7$$
$$A_7 = 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0{,}5/u_6 + 1/u_7$$

Dönemlere ait talep verilerinin oluşturulan aralıklara göre ait oldukları bulanık kümeler Tablo 3'te gösterildiği gibidir.

Tablo 3. Talep değerlerinin karşılık geldiği bulanık kümeler

	2011		2012		2013		2014		2015	
	Talep	Küme	Talep	Küme	Talep	Küme	Talep	Küme	Talep	Küme
Ocak			25.614	A3	6.293	A1	19.561	A2	43.414	A6
Şubat			23.795	A3	8.640	A1	24.543	A3	29.179	A4
Mart			14.742	A2	11.879	A1	33.421	A4		
Nisan			10.535	A1	11.496	A1	38.152	A5		
Mayıs	22.333	A3	9.869	A1	15.271	A2	40.439	A5		
Haziran	25.874	A3	7.036	A1	14.162	A2	38.727	A5		
Temmuz	24.491	A3	10.115	A1	10.206	A1	42.827	A6		
Ağustos	24.179	A3	14.673	A2	9.472	A1	38.633	A5		
Eylül	18.849	A2	12.894	A2	5.696	A1	44.718	A6		
Ekim	18.852	A2	13.520	A2	5.412	A1	56.095	A7		
Kasım	22.570	A3	9.889	A1	8.529	A1	52.681	A7		
Aralık	23.751	A3	5.610	A1	16.808	A2	45.256	A6		

Belirlenen bulanık kümelere göre i yılından i+1 yılına geçişler gruplandırıldığında Tablo 4'teki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4. Gruplandırılmış bulanık ilişkiler

Grup 1	A1→A1	A1→A2		
Grup 2	A2→A1	A2→A2	A2→A3	
Grup 3	A3→A2	A3→A3	A3→A4	
Grup 4	A4→A5			
Grup 5	A5→A5	A5→A6		
Grup 6	A6→A4	A6→A5	A6→A6	A6→A7
Grup 7	A7→A6	A7→A7		

Chen'in önermiş olduğu yönteme göre tahmin değerlerini elde etmek için Tablo 4'te verilen gruplandırılmış bulanık ilişkilerden faydalanılmıştır. Örneğin $A_j \rightarrow A_k$ bulanık ilişkisinin sol yanındaki değer A5 ise tahmin edilecek değer Tablo 4'te yer alan Grup 5'teki A5→A5 ve A5→A6 ilişkilerinin sağ yanındaki A5 ve A6 kümelerinin maksimum üyeliğe sahip oldukları u5 ve u6 aralıklarının orta noktalarının ortalamasına eşit olmaktadır. Bu yaklaşımla elde edilmiş tahmin değerleri Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Chen'in önerdiği yönteme göre elde edilmiş tahmin değerleri

	2011		2012		2013		2014		2015	
	Talep	**Tahmin**	**Talep**	**Tahmin**	**Talep**	**Tahmin**	**Talep**	**Tahmin**	**Talep**	**Tahmin**
Ocak			25.614	23.752	6.293	12.502	19.561	16.252	43.414	42.502
Şubat			23.795	23.752	8.640	12.502	24.543	16.252	29.179	42.502
Mart			14.742	23.752	11.879	12.502	33.421	23.752		
Nisan			10.535	16.252	11.496	12.502	38.152	38.752		
Mayıs	22.333		9.869	12.502	15.271	12.502	40.439	42.502		
Haziran	25.874	23.752	7.036	12.502	14.162	16.252	38.727	42.502		
Temmuz	24.491	23.752	10.115	12.502	10.206	16.252	42.827	42.502		
Ağustos	24.179	23.752	14.673	12.502	9.472	12.502	38.633	42.502		
Eylül	18.849	23.752	12.894	16.252	5.696	12.502	44.718	42.502		
Ekim	18.852	16.252	13.520	16.252	5.412	12.502	56.095	42.502		
Kasım	22.570	16.252	9.889	16.252	8.529	12.502	52.681	50.002		
Aralık	23.751	23.752	5.610	12.502	16.808	12.502	45.256	50.002		

Tablo 5'te gösterilen tahmin değerlerinin hesaplanışına örnek verilecek olursa Kasım 2011 için tahmin değeri bir önceki dönem olan Ekim 2011'in ait olduğu bulanık kümeye bakılmalıdır. Ekim 2011'in sahip olduğu maksimum üyeliğin A_2 kümesinde, Kasım 2011'in ise maksimum üyeliğinin A_3 kümesinde olduğu Tablo 3'te görülebilmektedir. O halde burada $A_2 \rightarrow A_3$ ilişkisi söz konusu olduğundan, Kasım 2011 için tahmin değerini elde edebilmek için gruplandırılmış ilişkiler için Tablo 4'ten Grup 2'ye bakılmalıdır. $A_2 \rightarrow A_1$, $A_2 \rightarrow A_2$ ve $A_2 \rightarrow A_3$ ilişkilerinden dolayı tahmin değerinin u_1, u_2 ve u_3 aralıklarının orta noktalarının ortalaması olan 16.252'ye eşit olduğu hesaplanır.

5.2. Hwang vd.nin Önerdiği Yöntemin Uygulanması

Hwang ve arkadaşlarının 1998 yılında önerdikleri yönteme göre talep tahmini yapılmak istenildiğinde, Chen'in önerdiği yöntemden farklı olarak dönemler arasındaki talepteki değişim üzerinden hareket edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bir dönem öncesine göre talepteki değişimler Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Dönemler arası talep miktarındaki değişimler

	2011	2012	2013	2014	2015
Ocak		1.863	683	2.753	-1.842
Şubat		-1.819	2.347	4.982	-14.235
Mart		-9.053	3.239	8.878	
Nisan		-4.207	-383	4.731	
Mayıs		-666	3.775	2.287	
Haziran	3.541	-2.833	-1.109	-1.712	
Temmuz	-1.383	3.079	-3.956	4.100	
Ağustos	-312	4.558	-734	-4.194	
Eylül	-5.330	-1.779	-3.776	6.085	
Ekim	3	626	-284	11.377	
Kasım	3.718	-3.631	3.117	-3.414	
Aralık	1.181	-4.279	8.279	-7.425	

Talepteki bir dönem öncesine göre değişimler incelendiğinde en küçük artış Şubat 2015'te -14.235 kilogram olarak ölçülmüştür. En büyük artış ise Ekim 2014'te 11.377 kilogram olarak ölçülmüştür. Bu iki ölçüm değerinden dolayı dönemler arasında oldukça büyük değişimler yaşandığı yorumu yapılmıştır. Değişim değerlerinin bulanıklaştırılabilmesi için öncelikle evrensel kümenin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla keyfi olarak seçilen $D_1 = 265, D_2 = 625$ pozitif tam sayılarıyla $U = [D_{min} - D_1, D_{max} + D_2]$ eşitliğine göre belirlenen evrensel küme $[-14.500, 12.002]$ şeklinde hesaplanmıştır. Yöntemde, evrensel küme 6 aralığa bölündüğünden bu

çalışmada da 6 aralık kullanılmıştır. Bu nedenle aralık genişliği 4.417 olarak belirlenmiştir. Kullanılan aralıklar aşağıda gösterildiği gibidir.

u_1=[-14.500, -10.083]
u_2=[-10.083, -5.666]
u_3=[-5.666, -1.249]
u_4=[-1.249, 3.168]
u_5=[3.168, 7.585]
u_6=[7.585, 12.002]

Değişim miktarlarına ait aralıklar kullanılarak bulanık kümeler oluşturulmak istenildiğinde kümeler A_1 bulanık kümesi "büyük azalış", A_2 bulanık kümesi "azalış", A_3 bulanık kümesi "değişim yok", A_4 bulanık kümesi "artış", A_5 bulanık kümesi "çok artış" ve A_6 bulanık kümesi "aşırı artış" şeklinde dilsel değişkenler yardımıyla oluşturulmaktadır. Bulanık kümelerin, belirlenmiş olan aralıklardaki üyelikleri aşağıda gösterildiği gibidir.

$$A_1 = 1/u_1 + 0{,}5/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6$$
$$A_2 = 0{,}5/u_1 + 1/u_2 + 0{,}5/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6$$
$$A_3 = 0/u_1 + 0{,}5/u_2 + 1/u_3 + 0{,}5/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6$$
$$A_4 = 0/u_1 + 0/u_2 + 0{,}5/u_3 + 1/u_4 + 0{,}5/u_5 + 0/u_6$$
$$A_5 = 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0{,}5/u_4 + 1/u_5 + 0{,}5/u_6$$
$$A_6 = 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0{,}5/u_5 + 1/u_6$$

Yönteme ilişkin aralıklar, bulanık kümeler belirlendikten sonra değişim miktarlarının ait oldukları bulanık kümeler Chen'in önermiş olduğu yöntemdeki mantıkla belirlenmektedir. Değişim miktarları bulanıklaştırıldıktan sonra hesaplamada kullanılacak w dönem miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Gerekli olan w dönem sayısının bulunması için kesin bir yöntem bulunmadığından bu çalışmada w, Hwang vd.nin çalışmasında 5 olarak seçilmesi nedeniyle öncelikli olarak 5; farklı dönem sayılarının etkisini görmek amacıyla ise keyfi olarak 4 ve 6 olarak seçilmiştir.

Tahmin değerinin hesaplanması için 5 dönem seçildiğinde bir önceki dönem kriter matrisi olarak, diğer dört dönem ise işlem matrisi olarak kullanılmaktadır. Kriter matrisinin sütun değerleri ile işlem matrisinin sütun değerleri karşılıklı çarpıldığında elde edilen ilişki matrisinin sütunlarındaki en büyük değerlerden faydalanılarak tahmin değerleri elde edilmektedir. Örneğin Kasım 2011 için dönemi için kriter matrisi Ekim 2011 döneminden, işlem matrisi ise Eylül 2011, Ağustos 2011, Temmuz 2011 ve Haziran 2011 dönemlerinden oluşmaktadır. Kriter ve işlem matrisleri aşağıda gösterildiği gibidir.

$$C(t) = F(t-1) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0{,}5 & 1 & 0{,}5 & 0 \end{bmatrix}$$

$$O^5(t) = \begin{bmatrix} F(t-2) \\ F(t-3) \\ F(t-4) \\ F(t-5) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0{,}5 & 1 & 0{,}5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0{,}5 & 1 & 0{,}5 & 0 \\ 0 & 0{,}5 & 1 & 0{,}5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}5 & 1 & 0{,}5 \end{bmatrix}$$

Kriter ve işlem matrisleri oluşturulurken ilgili dönemin ait olduğu aralıklardaki üyelik derecesinin kullanıldığına dikkat edilmelidir. Kriter ve işlem matrislerinin sütun değerlerinin karşılıklı çarpılmasıyla bulunan ilişki matrisi aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$R(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0{,}5 & 0{,}5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0{,}25 & 1 & 0{,}25 & 0 \\ 0 & 0 & 0{,}5 & 0{,}5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}5 & 0{,}5 & 0 \end{bmatrix}$$

İlişki matrisinin sütunlarının maksimum değeri ilgili dönemdeki talep değişiminin üyelik dereceleri vermektedir. Buna göre Kasım 2011 için üyelik dereceleri aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$F(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0{,}5 & 1 & 0{,}5 & 0 \end{bmatrix}$$

Elde edilen bu bulanık değerler durulaştırılarak Kasım 2011'de tahmin edilen değişim miktarı bulunmuştur. Bu nedenle sıfırdan farklı aralıkların orta noktalarının ortalaması tahmin edilen değeri vermiştir. Kasım 2011 için değişim miktarı, u_3, u_4 ve u_5 aralıklarının orta noktaları olan -3.458, 960 ve 5.377 değerlerinin ortalaması olan 960 olarak tahmin edilmiştir. Kasım 2011'de talebi tahmin edebilmek için bir önceki dönemdeki talebe bu değişim miktarı eklenerek 19.812 olarak hesaplanmıştır. Diğer dönemler için aynı yöntem uygulanarak hesaplanan tahmin değerleri Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. w=5 için hesaplanan talep tahminleri

	2011		2012		2013		2014		2015	
	Talep	**Tahmin**	**Talep**	**Tahmin**	**Talep**	**Tahmin**	**Talep**	**Tahmin**	**Talep**	**Tahmin**
Ocak			25.614	24.711	6.293	2.152	19.561	22.185	43.414	39.590
Şubat			23.795	26.574	8.640	7.253	24.543	20.521	29.179	39.956
Mart			14.742	22.546	11.879	9.600	33.421	29.920		
Nisan			10.535	9.076	11.496	15.047	38.152	41.006		
Mayıs	22.333		9.869	7.077	15.271	12.456	40.439	43.529		
Haziran	25.874		7.036	10.829	14.162	20.648	38.727	41.399		
Temmuz	24.491		10.115	3.578	10.206	15.122	42.827	37.478		
Ağustos	24.179		14.673	11.075	9.472	8.957	38.633	48.204		
Eylül	18.849		12.894	17.841	5.696	10.432	44.718	35.175		
Ekim	18.852		13.520	9.436	5.412	2.238	56.095	50.095		
Kasım	22.570	19.812	9.889	14.480	8.529	6.372	52.681	63.680		
Aralık	23.751	25.738	5.610	6.431	16.808	9.489	45.256	49.223		

Aynı yöntemle ile w=4 ve w=6 için talep tahmini yapıldığında değişen tek şey hesaplamada kullanılan işlem matrislerinin boyutudur. Tahmin hatalarına göre alternatiflerin performansı ölçüldüğünde en iyi sonucu w=4 döneme sahip hesaplama yönteminin verdiği

gözlemlenmiştir. En iyi ikinci alternatif olarak ise *w*=5 döneme sahip hesaplama yöntemi seçilmiştir.

5.3. Chen'in Önerdiği Yüksek Mertebeli Modelin Uygulanması

Chen 2002 yılında önermiş olduğu yüksek mertebeli modelde zaman serisinin bir önceki dönemden değil de daha fazla geçmiş dönemden etkilenmesi durumunda daha başarılı tahmin değerlerinin elde edilebileceğini belirtmiştir. Bu noktadan hareketle çalışmada kullanılan adımlar kullanılarak yüksek mertebeli bulanık zaman serisi ile talep tahmini yapılmıştır.

Yüksek mertebeli model için talep verisi bulanıklaştırılırken, Chen'in önerdiği ilk yöntemdeki adımlardan faydalanılmıştır. Bu nedenle talep tahmininde kullanılan aralıklar, bulanık kümeler ve Tablo 3'te gösterilen talep miktarlarının ait olduğu bulanık kümeler bu yöntem ile aynı olduğundan tekrardan belirtilmemiştir.

Talep verisi temel alınarak yüksek mertebeden bulanık ilişkiler incelendiğinde, ikinci mertebeden gruplandırılmış bulanık ilişkiler Tablo 8'de gösterildiği gibidir.

Tablo 8. İkinci mertebeden bulanık ilişkiler

Grup	Bulanık İlişki	Grup	Bulanık İlişki
Grup 1	A1, A1→A1	Grup 8	A3, A4→A5
	A1, A1→A2	Grup 9	A4, A5→A5
Grup 2	A1, A2→A2	Grup 10	A5, A5→A5
Grup 3	A2, A1→A1		A5, A5→A6
Grup 4	A2, A2→A1	Grup 11	A5, A6→A5
	A2, A2→A2		A5, A6→A7
	A2, A2→A3	Grup 12	A6, A4→#
Grup 5	A2, A3→A3	Grup 13	A6, A5→A6
	A2, A3→A4	Grup 14	A6, A6→A4
Grup 6	A3, A2→A1	Grup 15	A6, A7→A7
	A3, A2→A2	Grup 16	A7, A6→A6
Grup 7	A3, A3→A2	Grup 17	A7, A7→A6
	A3, A3→A3		

Tablo 8 incelendiğinde Grup 1, Grup 4, Grup 6, Grup 5, Grup 10 ve Grup 11'de ilişkinin sol yanındaki bulanık kümelerin aynı olmasına rağmen, ilişkilerin sağ yanındaki bulanık kümelerin farklı olması nedeniyle tahmin değerinin kaça eşit olacağı konusunda belirsizlik bulunmaktadır. Bu amaçla, söz konusu belirsizliğin giderilebilmesi adına daha yüksek mertebeden ilişkiler incelenmiştir. Tahmin değerlerinin elde edilebilmesi için elde edilen üçüncü mertebeden bulanık ilişkiler Tablo 9'da gösterildiği gibidir.

Tablo 9. Üçüncü mertebeden bulanık ilişkiler

Grup	Bulanık İlişki	Grup	Bulanık İlişki
Grup 1	A1, A1, A1→A1	Grup 11	A3, A3, A3→A2
	A1, A1, A1→A2		A3, A3, A3→A3
Grup 2	A1, A2, A2→A1	Grup 12	A4, A5, A5→A5
	A1, A2, A2→A2	Grup 13	A5, A5, A5→A6
	A1, A2, A2→A3	Grup 14	A5, A5, A6→A5
Grup3	A2, A1, A1→A1	Grup 15	A5, A6, A5→A6
Grup 4	A2, A2, A2→A1	Grup 16	A5, A6, A7→A7
Grup 5	A2, A2, A3→A3	Grup 17	A6, A5, A6→A7
	A2, A2, A3→A4	Grup 18	A6, A7, A7→A6
Grup 6	A2, A3, A3→A3	Grup 19	A7, A7, A6→A6
Grup 7	A2, A3, A4→A5	Grup 20	A7, A6, A6→A4
Grup 8	A3, A2, A1→A1	Grup 21	A6, A6, A4→#
Grup 9	A3, A2, A2→A3	Grup 22	#, A3, A3→A3
Grup 10	A3, A3, A2→A1		
	A3, A3, A2→A2		

Tablo 9 incelendiğinde tahmin değerlerinin elde edilmesinde belirsizliğe neden olan grupların bulunmaya devam ettiği görülmektedir. Bu nedenle mertebe artışına gidilmesi gerekmektedir. Üçüncü mertebeden bulanık ilişkiler ile ikinci mertebeden bulanık ilişkiler karşılaştırıldığında, belirsizlikte bir miktar azalma olması nedeniyle grup sayısında bir artış olduğu yorumu yapılabilir. Belirsizliği giderebilmek adına mertebe artışları yapıldığında sekizinci mertebede amaca ulaşıldığı görülmüştür. Sekizinci mertebeden bulanık ilişkiler Tablo 10'da gösterildiği gibidir.

Tablo 10. Sekizinci mertebeden bulanık ilişkiler

Grup	Bulanık İlişki	Grup	Bulanık İlişki
Grup 1	A1, A1, A1, A1, A1, A1, A2, A2→A1	Grup 21	A2, A2, A2, A1, A1, A1, A1, A1→A1
Grup 2	A1, A1, A1, A1, A1, A2, A2, A1→A1	Grup 22	A2, A2, A3, A3, A3, A3, A2, A1→A1
Grup 3	A1, A1, A1, A1, A1, A2, A2, A3→A4	Grup 23	A2, A2, A3, A4, A5, A5, A5, A6→A5
Grup 4	A1, A1, A1, A1, A2, A2, A1, A1→A1	Grup 24	A2, A3, A3, A3, A3, A2, A1, A1→A1
Grup 5	A1, A1, A1, A1, A2, A2, A2, A1→A1	Grup 25	A2, A3, A4, A5, A5, A5, A6, A5→A6
Grup 6	A1, A1, A1, A1, A2, A2, A3, A4→A5	Grup 26	A3, A2, A1, A1, A1, A1, A2, A2→A2
Grup 7	A1, A1, A1, A2, A2, A1, A1, A1→A1	Grup 27	A3, A2, A2, A3, A3, A3, A3, A2→A1
Grup 8	A1, A1, A1, A2, A2, A2, A1, A1→A1	Grup 28	A3, A3, A2, A1, A1, A1, A1, A2→A2
Grup 9	A1, A1, A1, A2, A2, A3, A4, A5→A5	Grup 29	A3, A3, A2, A2, A3, A3, A3, A3→A2
Grup 10	A1, A1, A2, A2, A1, A1, A1, A1→A1	Grup 30	A3, A3, A3, A2, A2, A3, A3, A3→A3
Grup 11	A1, A1, A2, A2, A2, A1, A1, A1→A1	Grup 31	A3, A3, A3, A2, A1, A1, A1, A1→A2
Grup 12	A1, A1, A2, A2, A3, A4, A5, A5→A5	Grup 32	A3, A3, A3, A3, A2, A2, A3, A3→A3
Grup 13	A1, A2, A2, A1, A1, A1, A1, A1→A2	Grup 33	A3, A3, A3, A3, A2, A1, A1, A1→A1
Grup 14	A1, A2, A2, A2, A1, A1, A1, A1→A1	Grup 34	A3, A4, A5, A5, A5, A6, A5, A6→A7
Sekizinci mertebeden bulanık ilişkiler (Devam ediyor)			
Grup 15	A1, A2, A2, A3, A4, A5, A5, A5→A6	Grup 35	A4, A5, A5, A5, A6, A5, A6, A7→A7
Grup 16	A2, A1, A1, A1, A1, A1, A1, A2→A2	Grup 36	A5, A5, A5, A6, A5, A6, A7, A7→A6

Grup 17	A2, A1, A1, A1, A1, A1, A2, A2→A3	Grup 37	A5, A5, A6, A5, A6, A7, A7, A6→A6
Grup 18	A2, A1, A1, A1, A1, A2, A2, A2→A1	Grup 38	A5, A6, A5, A6, A7, A7, A6, A6→A4
Grup 19	A2, A2, A1, A1, A1, A1, A1, A1→A2	Grup 39	A6, A5, A6, A7, A7, A6, A6, A4→#
Grup 20	A2, A2, A1, A1, A1, A1, A1, A2→A2	Grup 40	#, A3, A3, A3, A3, A2, A2, A3→A3

Tablo 10 incelendiğinde tahmin değerinin elde edilirken gruplara bağlı belirsizliğin olmadığı ve ikinci mertebeden sekizinci mertebeye geçene kadar grup sayısının 17'den 40'a yükseldiği gözlemlenmiştir.

Elde edilen bulanık ilişkilere göre hesaplanan talep tahminleri Tablo 11'de gösterildiği gibidir.

Tablo 11'de gösterilen tahmin değerleri elde edilirken ikinci mertebeden modelden başlayarak gruplandırılmış bulanık ilişkilerden faydalanılmıştır. Eğer bakılan dönemde ilgili mertebenin ilgili grubunda bir belirsizlik yok ise bulanık ilişkinin sağ yanındaki bulanık kümenin en büyük üyeliğe sahip olduğu aralığın orta noktası tahmin değeri olarak seçilmiştir. Örneğin, Temmuz 2011 için talep tahmini yapılmak istenildiğinde ikinci mertebeden A_3, $A_3 \rightarrow A_3$ ilişkisi elde edilmiştir. Tablo 8'de gösterilen ikinci mertebe için gruplandırılmış bulanık ilişkilere bakıldığında Grup 7'de hem A_3, $A_3 \rightarrow A_2$ hem de A_3, $A_3 \rightarrow A_3$ ilişkileri söz konusu olduğundan tahmin değerinin A_2'ye göre mi yoksa A_3'e göre mi hesaplanacağı belli olmadığından mertebe artışına gidilmiştir. Üçüncü mertebede #, A_3, $A_3 \rightarrow A_3$ ilişkisinin belirsizlik içerip içermediğini belirleyebilmek amacıyla Tablo 9'da yer alan Grup 22 incelendiğinde tek bir ilişki olduğu gözlemlendiğinden, tahmin değeri olarak A_3 kümesinin maksimum üyeliğe sahip olduğu u_3 aralığından orta noktası olan 23.572 tahmin değeri olarak hesaplanmıştır. Diğer dönemler için de tahmin değerleri benzer şekilde elde edilmiştir.

5.4. Klasik Talep Tahmin Yöntemlerinin Uygulanması

Klasik olarak isimlendirilebilecek yalın yöntem, hareketli ortalamalar yöntemi, üstel düzgünleştirme yöntemi ve trend analizi için QM for Windows V4 programından faydalanılmıştır. Hareketli ortalamalar yönteminde çeşitli dönemlerin etkisini görebilmek için 2, 3 ve 4 dönemlik hesaplamalar yapılmıştır, yapılan hata analizi sonucunda 2 dönemli alternatifin en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Üstel düzgünleştirme yönteminde ise en uygun alfa katsayısının belirlenebilmesi için 0,1 ile 0,4 arasında dört farklı alternatif üzerinde hesaplama yapılmış olup en iyi sonucun parametrenin 0,4 seçilmesi ile elde edildiği gözlemlenmiştir. Trend analizinde ise $y = 9155{,}72 + 545{,}36x$ şeklinde model kurulmuştur.

5.5. Doğrusal Zaman Serilerinin Uygulanması

Doğrusal zaman serisi modellerini kullanabilmek için öncelikle verinin normal dağılıma uyup uymadığı, ardından da durağanlığı araştırılmalıdır. Eğer veri durağan değilse gerekli dönüşümler yapılarak durağanlaştırılmalıdır. Bu işlemin ardından otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları yardımıyla model adayları belirlenerek, bu modeller arasından en düşük bilgi kriteri değerine sahip model seçilmelidir.

Tablo 11. Yüksek mertebeli modele göre elde edilen talep tahminleri

	Gerçek Talep	Bulanık Küme	Tahmin
Mayıs 11	22.333	A3	
Haziran 11	25.874	A3	
Temmuz 11	24.491	A3	23.752
Ağustos 11	24.179	A3	23.752
Eylül 11	18.849	A2	16.252
Ekim 11	18.852	A2	16.252
Kasım 11	22.570	A3	23.752
Aralık 11	23.751	A3	23.752
Ocak 12	25.614	A3	23.752
Şubat 12	23.795	A3	23.752
Mart 12	14.742	A2	16.252
Nisan 12	10.535	A1	8.752
Mayıs 12	9.869	A1	8.752
Haziran 12	7.036	A1	8.752
Temmuz 12	10.115	A1	8.752
Ağustos 12	14.673	A2	16.252
Eylül 12	12.894	A2	16.252
Ekim 12	13.520	A2	16.252
Kasım 12	9.889	A1	8.752
Aralık 12	5.610	A1	8.752
Ocak 13	6.293	A1	8.752
Şubat 13	8.640	A1	8.752
Mart 13	11.879	A1	8.752
Nisan 13	11.496	A1	8.752
Mayıs 13	15.271	A2	16.252
Haziran 13	14.162	A2	16.252
Temmuz 13	10.206	A1	8.752
Ağustos 13	9.472	A1	8.752
Eylül 13	5.696	A1	8.752
Ekim 13	5.412	A1	8.752
Kasım 13	8.529	A1	8.752
Aralık 13	16.808	A2	16.252
Ocak 14	19.561	A2	16.252
Şubat 14	24.543	A3	23.752
Mart 14	33.421	A4	31.252
Nisan 14	38.152	A5	38.752
Mayıs 14	40.439	A5	38.752
Haziran 14	38.727	A5	38.752
Temmuz 14	42.827	A6	46.252
Ağustos 14	38.633	A5	38.752
Eylül 14	44.718	A6	46.252
Ekim 14	56.095	A7	53.752
Kasım 14	52.681	A7	53.752
Aralık 14	45.256	A6	46.252
Ocak 15	43.414	A6	46.252
Şubat 15	29.179	A4	31.252

Doğrusal zaman serisi modelleri anlamlı model kurabilmek için en az 50 veriye ve de gecikme dönemi olarak gözlem sayısının dörtte birine ihtiyaç duyduğundan, bu modeller incelenirken veri olarak dönüştürülmemiş talep verisi ve gecikme dönem sayısı olarak da 12 kullanılmıştır.

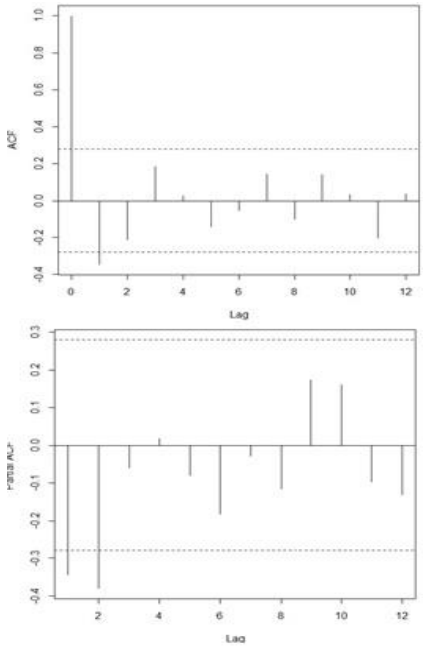
Verilerin normal dağılıma uyup uymadığı R'da Jarque – Bera testi ile incelendiğinde, veriler normal dağılıma uymaktadır hipotezine karşılık, veriler normal dağılıma

uymamaktadır hipotezi kurulmuştur ve bu testin sonucu p=0,006111 çıktığı için verilerin %95 güvenirlikle normal dağılmadığı yorumu yapılmıştır. Bu nedenle verilerde dönemler arasındaki değişimlerin incelenmesi daha doğru olacağı düşünülmüş ve bu nedenle verilerin logaritmalarının bir dönemlik farkları alınarak bir dönüşüm yapılmıştır. Dönüşümden sonra tekrar Jarque – Bera testi yapıldığında test sonucunun p=0,7059 olarak çıkması nedeniyle verilerin %95 güvenirlikle normal dağıldığı yorumu yapılmıştır.

Verilerin hangi modele uyduğunu belirlemek için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarına ait grafikler çizildiğinde elde edilen sonuçlar Şekil 2'de gösterildiği gibi olmuştur.

Bir zaman serisinde ACF grafiğindeki gecikmeler modele uygun MA mertebesini ya da üstel bir azalış olması durumunda AR etkisini göstermektedir. Benzer şekilde PACF grafiği de MA etkisini ya da AR modelinin mertebesini göstermektedir. Şekil 2 incelendiğinde veri için MA(1), AR(1) ve AR(2) modelleri ya da bunların kombinasyonundan oluşan bir ARMA(p, q) modeli söz konusudur. Alternatifler değerlendirildiğinde MA(1) ile AR(2) modellerinin anlamlı olduğu görülmüştür. AR(2)'nin tahmin hatası daha düşük olduğundan en iyi alternatif olarak bu model seçilmiştir. Model, $x_t = 0.0033 - 0.5084x_{t-1} - 0.4131x_{t-2} + a_t$ şeklinde kurulmuştur.

Talep tahmini yapılırken toplamda 8 farklı yöntemden faydalanılmış olup bu yöntemlerden 3'ü bulanık zaman serisi, 4'ü bilinen talep tahmini yöntemleri ve 1 yöntem de doğrusal zaman serisi modelleridir. Her model ile tahmin sonuçları elde edilmiştir; ancak bu sonuçlara bakılarak hangi yöntemin daha az tahmin hatasına sahip olduğunu belirlemek mümkün değildir. Bu amaçla da her yöntemin vermiş olduğu sonuçlar için tahmin hatası analizi yapılmıştır. Hata analizi yapılırken kullanılan ölçütler, ortalama mutlak hata (MAD), hata kareleri ortalaması (MSE) ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) şeklinde belirlenmiştir. Yöntemler arasında inceleme yapılırken ortalama mutlak yüzde hatanın sonuçlarının ölçüm biriminden ve ölçümlerin büyüklüğünden bağımsız olması nedeniyle hangi tahmin yönteminin daha başarılı olduğu bu değere bakılarak belirlenmiştir. Tahmin yöntemlerine ilişkin hata analizi sonuçları Tablo 12'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Veriye ilişkin ACF ve PACF grafikleri

Yöntemlere ait tahmin hatalarını gösteren Tablo 12 incelendiğinde Chen'in (2002) önermiş olduğu yüksek mertebeli modelin %13 ortalama mutlak yüzde hata ile diğer yedi yönteme göre çok üstün bir tahmin performansı sergilediği görülmektedir. Diğer yöntemler bu performansa göre sıralandığında yalın yöntem, Hwang vd. (1998), hareketli ortalamalar (n=2), üstel düzgünleştirme (α=0,4), Chen (1996), AR(2) ve trend analizi şeklinde sıralanmaktadır. Elde edilen bu sonuçlara göre bulanık zaman serilerinin, işletmeler için talep tahminlerinde başarıyla kullanılabileceği gösterilmiştir.

Tablo 12. Talep tahmin yöntemlerinin hata analizi

Yöntem	MAD	MSE	MAPE
Chen (1996)	4.065	26.569.327	31%
Hwang vd. (1998)	4.258	24.819.644	26%
Chen (2002)	1.653	3.835.326	13%
Yalın Yöntem	3.635	22.104.538	21%
Hareketli Ortalamalar (n=2)	4.492	33.185.931	27%
Üstel Düzgünleştirme (α=0,4)	5.048	42.918.161	30%
Trend Analizi	10.541	134.117.779	77%
AR(2)	0,65	0,61	66%

6. Sonuç

Belirli bir konuda karar almak, konunun önem derecesine göre karar vericilere ciddi boyutlarda sorumluluklar yüklemektedir. Bu nedenle iş dünyasında karar vericiler sezgileriyle karar vermek yerine bilimsel yöntemleri tercih ederek daha objektif kararlar vermeyi amaçlamaktadırlar. Karar verme sürecinde kullanılan yöntemlerin sezgisel ya da

bilimsel olmasının işletmenin kurumsallık düzeyiyle orantılı olduğunu belirtmekte fayda vardır.

İşletmelerin faaliyetleri içerisinde çok önemli bir konuma sahip olan talep tahmin süreci bu çalışmanın konusu olarak belirlenmiştir. Talep tahminleri gerçek talebe göre düşük yapıldığında müşteriye mal ya da hizmet sunamama, yüksek yapıldığında ise satılamayan mal ya da hizmet gibi sonuçlar vermektedir. Bu sonuçlardan müşteri kaybı direkt olarak ölçülemeyen bir maliyet olduğundan etkisini belirlemek çok kolay değildir. Mal ya da hizmetlerin satılamaması durumunda ise işletmenin elinde ciddi boyutlarda stok oluşmaktadır, bu durumda da işletme ciddi miktarda stok maliyeti ile karşılaşmaktadır. Eğer stoklarda tutulan ürünün modası çok hızlı geçiyorsa yanlış talep tahminin işletmeye olan maliyeti daha da artabilmektedir. Talep tahmininin doğruluğu, işletmenin katlanacağı maliyetler dışında istihdam edilecek personel sayısı, üretim planı, kapasite büyüklüğü gibi konularda da hayati öneme sahiptir. Bu çalışmada bakır mamulleri üreten bir işletmede talep tahmini ile ilgili bir uygulama yapılmıştır. Talep tahmini yapılan ürüne ait veriler 2011-2015 yılları arasını kapsayan bir döneme aittir. Tahmin yöntemlerinin performansını ölçebilmek için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin karşılaştırmasının yapılması gerektiğinden geriye dönük tahminler yapılarak eldeki veriye göre bir değerlendirme yapılmıştır.

Bulanık zaman serileri, ölçüm değerlerinin ait olduğu bulanık kümeleri belirlerken aralıklardan faydalanmaktadır. Bulanık zaman serisi ile analiz yaparken kullanılacak aralık sayısı ya da aralık genişliği ile ilgili belirli bir kural olmadığından kaynak çalışmalardaki yaklaşımlar benimsenmiş ve tahmin değerleri bu şekilde hesaplanmıştır. Bulanık zaman serileri belirli zaman noktalarında ölçüm yapılarak elde edilmiş olan değerlerin bulanıklaştırılması ile elde edilmektedirler. Zaman serilerini modellemek için normallik varsayımı, durağan olma koşulu, ak gürültü sürecine uyma, model türünü ve mertebesini belirleyebilmek için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarının grafiklerini çizme ve varsayımları test etmek için hipotez testleri kurma zorunluluklarının hiçbiri bulanık zaman serileri ile model kurulurken bulunmamaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde bulanık zaman serilerinin önkoşul içermemesi nedeniyle değişkenliği çok yüksek olmayan zaman serilerinde kolaylıkla uygulanabilmektedir. Bulanık zaman serileri incelendiğinde ise kullanılacak bulanık küme sayısı, aralık sayısı, aralık genişlikleri ya da kullanılacak işlem matrisinin büyüklüğü gibi konularda belirli kurallar olmadığından karar vericilerin bu kavramlar hakkında seçim yaparken ilk seferde doğru karar vermeleri pek kolay olmayabilir. Bu çalışmada yapılan uygulamada da özellikle Hwang vd.nin önerdiği yöntemde kullanılacak dönem sayısı için kesin bir yöntem olmadığından *w* sırasıyla 4, 5 ve 6 olarak seçilmiştir ve sonuçları karşılaştırılarak yöntemin kendi içinde bir seçim yapılmıştır.

Bulanık zaman serileri ile talep tahminleri yapıldıktan sonra, işletmelerin sürekli olarak kullandığı ve klasik yöntemler olarak isimlendirilebilecek yöntemler ile aynı veri üzerinden uygulama yapılmıştır. Yalın yöntem ve trend analizi yöntemi uygulanırken iki yöntemin metodolojisi aynen uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Hareketli ortalamalar yöntemi, üstel düzgünleştirme yöntemi ve doğrusal zaman serisi modelleri uygulanırken modellere özgü farklı alternatifler kullanılarak bu alternatifler arasından bir seçim yapılmıştır. Hareketli ortalamalar yönteminde ortalaması alınacak dönemler 2, 3 ve 4 olarak belirlenip n=2 en iyi alternatif olarak seçilmiştir. Üstel düzgünleştirme yönteminde α katsayısı sırasıyla 0,10, 0,20, 0,30 ve 0,40 olarak belirlenerek hesaplamalar yapılmış ve en iyi alternatifin α=0,40 olduğuna karar verilmiştir. Doğrusal zaman serisi modelleri ile modelleme yapılırken veriye bağlı olarak AR(1), AR(2), MA(1), ARMA(1, 1) ve ARMA(2, 1) modelleri alternatif olarak belirlenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda AR(2) modelinin veriye en uygun model olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Talep tahmini için bulanık zaman serilerinden faydalanmak isteyen işletmelerin, bu çalışmada kullanılan yöntemlerin haricinde araştırmacılar tarafından geliştirilen diğer yöntemlerden de faydalanmaları mümkündür; ancak bu durum işletmelerin yeniliklere ne kadar açık oldukları ile ilgilidir. Her yeni yöntem, daha önceki yöntemlerde eksik görülen özellikleri geliştirmek için ortaya konulduğundan ve de bulanık zaman serilerinin kullandığı küme sayısı, aralık sayısı, aralık genişliği gibi konularda kesin kuralların olmaması nedeniyle araştırmacıların zaman içerisinde daha farklı konularda literatüre katkıda bulunacakları düşünülmektedir.

Kaynaklar

Akgül, I. (2003), Zaman Serilerinin Analizi ve ARIMA Modelleri. Der Yayınları, İstanbul.

Bisgaard, S. and Kulahci, M. (2011), Time Series Analysis and Forecasting by Example. John Wiley & Sons, New Jersey.

Bozkurt, H.Y. (2013), Zaman Serileri Analizi. Genişletilmiş İkinci Baskı, Ekin Yayınevi, Bursa.

Chase Jr, C.W. (2013), Demand-Driven Forecasting: A Structured Approach to Forecasting. Second Edition, John Wiley & Sons, New Jersey.

Chen, G. and Pham, T.T. (2000), Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Control Systems. CRC Press, Florida.

Chen, S.M. (1996), "Forecasting Enrollments Based On Fuzzy Time Series", Fuzzy Sets and Systems, 81(3), 311-319.

Chen, S.M. (2002), "Forecasting Enrollments Based on High-Order Fuzzy Time Series", Cybernetics and Systems: An International Journal, 33(1), 1-16.

Chen, S.M. and Chung, N.Y. (2006), "Forecasting Enrollments Using High-Order Fuzzy Time Series and Genetic Algorithms", International Journal of Intelligent Systems, 21(5), 485-501.

Cryer, J.D. and Chan, K.S. (2008), Time Series Analysis With Applications in R. Second Edition, Springer Science+Business Media, New York.

Demir, H. ve Gümüşoğlu, Ş. (2003), Üretim Yönetimi (İşlemler Yönetimi). 6. Bası, Beta, İstanbul.

Ecerkale, K., Küçükdeniz, T. ve Esnaf, Ş. (2010), "Comparison of Fuzzy Time Series Based on Difference Parameters and Two-Factor Time-Variant Fuzzy Time Series Models for Aviation Fuel Production Forecasting", Journal of Aeronautics and Space Technologies, 4(4), 57-63.

Egrioglu, E., Aslan, Y. ve Aladag, C.H. (2014), "A New Fuzzy Time Series Method Based On Artificial Bee Colony Algorithm", TJFS: Turkish Journal of Fuzzy Systems, 5(1), 59-77.

Evans, M.K. (2003), Practical Business Forecasting. Blackwell Publishers, Oxford.

Frechtling, D.C. (2001), Forecasting Tourism Demand: Methods and Strategies. Butterworth-Heinemann, Oxford.

Granger, C.W.J. and Newbold, P. (1986), Forecasting Economic Time Series. Second Edition, Academic Press, Florida.

Günay, S., Eğrioğlu, E. ve Aladağ, Ç.H. (2007), Tek Değişkenli Zaman Serileri Analizine Giriş. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara.

Huarng, K. (2001), "Effective Lengths of Intervals to Improve Forecasting in Fuzzy Time Series", Fuzzy Sets and Systems, 123(3), 387-394.

Huarng, K. and Yu, T.H.K. (2006), "The Application of Neural Networks to Forecast Fuzzy Time Series", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 363(2), 481-491.

Hwang, J.R., Chen, S.M. and Lee, C.H. (1998), "Handling Forecasting Problems Using Fuzzy Time Series", Fuzzy Sets and Systems, 100(1-3), 217- 228.

Jacobs, F.R. and Chase, R.B. (2008), Operations and Supply Management: The Core. McGraw-Hill/Irwin, New York.

Kobu, B. (2010), Üretim Yönetimi. Genişletilmiş Güncellenmiş 15. Baskı, Beta, İstanbul.

Leseure, M. (2010), Key Concepts in Operations Management. SAGE Publications, London.

Lewis-Beck, M.S. (1980), Applied Regression: An Introduction. SAGE Publications, California.

Montgomery, D.C., Jennings, C.L. and Kulahci, M. (2008), Introduction to Time Series Analysis and Forecasting. John Wiley & Sons, New Jersey.

Özer, K. (2009), İstanbul Deniz Otobüsleri'nin Bir Hattında Yolcu Talep Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Öztaş, T. (2015), Bulanık Zaman Serilerinin Talep Tahminlerinde Kullanılmasına Yönelik İşletme Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.

Paksoy, T., Yapıcı Pehlivan, N. ve Özceylan, E. (2013), Bulanık Küme Teorisi. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.

Palit, A.K. and Popovic, D. (2005), Computational Intelligence in Time Series Forecasting Theory and Engineering Applications. Springer-Verlag, London.

Pfaff, B. (2008), Analysis of Integrated and Cointegrated Time Series with R. Springer Science+Business Media, New York.

Reid, R.D. and Sanders, N.R. (2011), Operations Management An Integrated Approach. Fourth Edition, John Wiley & Sons, New Jersey.

Russell, R.S. and Taylor, B.W. (2011), Operations Management: Creating Value Along the Supply Chain. Seventh Edition, John Wiley & Sons, New Jersey.

Slack, N., Chambers, S. and Johnston, R. (2007), Operations Management. Fifth Edition, Pearson, Essex.

Sofyalıoğlu, Ç. ve Öztürk, Ş. (2013), "Bir Çimento Firması İçin Dönemsel Satış Miktarlarının Tahmininde Bulanık Zaman Serisi Modellerinin Karşılaştırılması", Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 18(3), 161-186.

Song, Q. and Chissom, B.S. (1993a), "Forecasting Enrollments With Fuzzy Time Series – Part I", Fuzzy Sets and Systems, 54(1), 1-9.

Song, Q. and Chissom, B.S. (1993b), "Fuzzy Time Series And Its Models", Fuzzy Sets and Systems, 54(3), 269-277.

Song, Q. and Chissom, B.S. (1994), "Forecasting Enrollments With Fuzzy Time Series – Part II", Fuzzy Sets and Systems, 62(1), 1-8.

Tanyaş, M. ve Baskak, M. (2013), Üretim Plânlama ve Kontrol. Genişletilmiş 3. Yayın, İrfan Yayıncılık, İstanbul.

Ucal, M.Ş. (2006), "Ekonometrik Model Seçim Kriterleri Üzerine Kısa Bir İnceleme", Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 7(2), 41-57.

Uslu, V.R., Yolcu, U., Eğrioğlu, E., Aladağ, Ç.H. ve Başaran, M.A. (2012), "Yüksek Dereceli Bulanık Zaman Serisi Yaklaşımı İle Türkiye Enflasyon Öngörüsü", Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 27(1), 85-95.

Üreten, S. (2002), Üretim/İşlemler Yönetimi Stratejik Kararlar ve Karar Modelleri. Gözden geçirilmiş 3. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara.

Yu, H.K. (2005), "Weighted Fuzzy Time Series Models for TAIEX Forecasting", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 349(3-4), 609-624.

Yücesoy, M. (2011), Temizlik Kağıtları Sektöründe Yapay Sinir Ağları ile Talep Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zadeh, L.A. (1965), "Fuzzy Sets", Information and Control, 8(3), 338-353.