

Kural tabanlı bulanık yaklaşımla talep tahmini ve hızlı tüketim sektöründe bir uygulama

Fuzzy rule based demand forecasting and an application on fast moving consumer industry

Beyzanur ÇAYIR ERVURAL^{1*}, İrem UÇAL SARI², Berk KOÇYİĞİT³

^{1,2,3}Endüstri Mühendisliği Bölümü, İşletme Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
cayirb@itu.edu.tr, ucal@itu.edu.tr, berk.kocyyigit@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 19.10.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 31.05.2017

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.00936

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Talep tahmin çalışmaları hem sektörel hem de akademik anlamda karar vericiler için önemli kabul edilen stratejik konulardan biridir. Sürekli değişen politik, kültürel, yasal ve ekonomik gelişmeler işletmeleri belirsizlik altında tahmin etmeye itmiştir. Karmaşık, çok boyutlu ve belirsizliğin yüksek olduğu ortamlarda klasik yöntemlerle problemleri modellemek oldukça güçtür. Bulanık yaklaşımlar daha esnek yapıda olduğu için daha kolay modelleme imkânı sağlamaktadır. Bu çalışmada hızlı tüketim sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın talep tahmin çalışması, bulanık küme teorisi, bulanık eğer-ise kuralları ve bulanık çıkarım kavramlarına dayanan kural tabanlı bulanık mantık yaklaşımıyla ele alınmıştır. Kural tabanlı bulanık yaklaşımla elde edilen sonuçlar gerçekleşen değerler ile karşılaştırılmış ve düşük mutlak sapma değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar zaman serileri yaklaşımıyla da karşılaştırılmış, yöntemlerin üstünlükleri gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Talep tahmini, Bulanık mantık, Kural tabanlı bulanık yaklaşım

Abstract

Demand forecasting studies are one of the strategic issues which are considered as significant for academicians and decision makers. Constantly changing political, cultural, legal and economic developments have pushed the companies to predict under uncertainty. It is very difficult to model some problems with traditional methods in complex, multi-dimensional and highly uncertain environment. Fuzzy approaches provide an easier modelling owing to their flexible nature. In this study, a demand forecasting study in a FMCG (fast-moving consumer goods) company has been applied using a rule based fuzzy logic approach which utilizes fuzzy set theory, fuzzy if-else rules and fuzzy inference concepts. The obtained results have been compared with real demands and low MAPE (mean absolute percentage error) values have been calculated. Also the obtained results have been compared with time series approach and the superiorities of the methods are discussed.

Keywords: Demand forecasting, Fuzzy logic, Rule based fuzzy approach

1 Giriş

Küreselleşmenin getirdiği yıkıcı rekabet şartları, yatırımcıların bütün teknolojik gelişmelerden anında haberdar olmalarını ve olası yenilikleri öngörüp önceden sezmeleri gerekliliğini zorunlu kılmıştır. Piyasada oluşabilecek dalgalanmalar eski dönemlerde aylar öncesinden öngörülüp gerekli önlemler alınabilirken, günümüzde ani piyasa değişimlerini önceden tahmin etmek imkânsız yakın hale gelmiştir. Bu bağlamda, doğru zamanda doğru talep tahmini, rekabetçi ortamda firmaların öne çıkabilmelerindeki en önemli etkenlerden biri olmuştur. Gelecekteki durumu önceden doğru tahmin ederek uygun planlamaların yapılması, firmaların bu yarışta rakipleri arasından sıyrılıp öne çıkmasını ve daha da önemlisi zorlu piyasa şartlarında ayakta kalmalarını sağlamaktadır [1].

Talep tahmin çalışmaları başta enerji, üretim, gıda, endüstri, sağlık, tarım ve turizm sektörleri olmak üzere hemen hemen tüm alanlarda uygulanan bir araştırma yöntemidir. İşletmeler için talebin doğru tahmin edilmesi oldukça önemlidir. Çünkü talebin altında tahmin etmek, müşteri, prestij ve maddi kayıplara yol açarken, talebin üstünde tahmin etmek de stok tutma maliyeti gibi farklı kayıplara yol açacaktır. Enerji sektörü gibi hassas piyasalarda, gerçeğe yakın tahmin etmenin önemi hem yerel hem de uluslararası anlamda izlenen politikalar gereği stratejik önem seviyesindedir.

Günümüz piyasalarındaki değişim dinamikleri, karar vermede kullanılacak talep tahmin yöntemlerini seçme, modelleme ve

uygulamada hassas çalışma yapılmasını gerekli hale getirmektedir. Bu sebeple, günümüzde işletmeler, tutarlı gelecek öngörüsünde bulunabilmek için çok çeşitli tahmin yöntemleri kullanmaktadır. Analiz edilecek etki faktörlerinin artış göstermesi, geliştirilen tahmin yöntemlerinin karmaşıklaşmasına ve işletmelerin kendi yönetim anlayışlarına, ürünlerini sunduğu piyasaya ve finansal sistemlerine uygun satış geliri tahmin yöntemlerini oluşturma gerekliliğine neden olmaktadır. Hızla değişen piyasa şartları ile birlikte, hammadde fiyatlarında ve döviz kurlarında oluşan dalgalanmalar gibi ekonomik kriterlerin, ülke ekonomisinde önemli etkileri bulunan nüfus değişimi ve gelir dağılımları gibi sosyo-ekonomik parametrelerin satış verileri üzerinde oluşturdukları etkiler talep tahmini uygulamasında göz ardı edilmemelidir. Sadece geçmiş yıllara ait satış verilerini kullanarak talep tahmini gerçekleştiren yöntemler yetersiz kalmakta, aynı zamanda değişim faktörlerini de girdi değişkeni olarak kullanan yöntemler ile daha tutarlı sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

İşletmelerin öngöremediği bazı risk ve belirsizlikler karar vermeyi güçleştirmektedir. İlk olarak Zadeh LA [2], tarafından 1965’de ortaya çıkan bulanık mantık teorisi, belirsizliği modele en iyi uyarlayan bir yaklaşımdır. Gerçek hayat problemlerinde modeller genellikle deterministik ve olasılıksal biçimde matematiksel forma dönüştürülür. Ancak, belirsizlik ve bulanıklık söz konusu olduğunda bulanık küme teorisi, geleneksel yaklaşımlardan farklı olarak başka bir araç önerir.

Bulanık küme teorisinde üyelik fonksiyonları kullanılarak dilsel ifadelerin sayısallaştırılması mümkün olmaktadır [1]. Talep tahmin problemleri genellikle doğrusal olmayan yapıda olduklarından modellenmeleri zordur. Bu yapıda bulanık mantık yaklaşımları etkin sonuçlar üretebilmektedir. Bulanık küme teorisi, insan yargılarının dilsel değişken ve üyelik fonksiyonları yardımıyla sayısallaştırılması ile belirsizliğin modellenmesinde önemli bir karar verme metodu olmuştur.

Literatürde çok sayıda farklı yöntemler kullanılarak yapılmış talep tahmin çalışması mevcuttur. Bulanık ortamda hazırlanan talep tahmin çalışmaları şu şekilde sıralanabilir: Abraham ve Nath [3], Viktorya'daki elektrik talebini modellemek için nöro-bulanık yaklaşımı kullanmışlar ve bu yaklaşımda yapay sinir ağları ile evrimsel nöro-bulanık yaklaşımlarından yararlanılmıştır. Wang [4], bulanık zaman serisi ve melez gri teoriyi kullanarak turizm talebini tahmin etmeye çalışmıştır. Yaptığı bu çalışma turizm talebini tahmin etmek için kullanılabilir iki model sunmaktadır. Her iki model de yapay zekâya dayanmaktadır. Bu çalışma, gri teori ve bulanık zaman serilerini kullanarak deneysel kanıt sağlamaktadır. Lau ve diğ. [5], bir imalat sistemindeki enerji tüketimini tahmin etmek için kural tabanlı bulanık mantık yaklaşımı kullanmışlardır. Bu çalışmada, üretim faktörlerinin değişikliklerden kaynaklanan belirsizlik, rahatsızlık ve verimsizliği azaltmak için bulanık mantık kullanarak bir enerji tüketiminin değişimi tahmin edilmiştir. Efendil ve diğ. [6], yapay sinir ağları ve nöro-bulanık modeller ile talep tahmini için bir karar destek sistemini karşılaştırmalı analiz yaparak incelemişlerdir. Bu makalenin amacı eksik bilgi ile bulanık talebi yönetmek için yapay sinir ağları ve uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi tekniklerinin karşılaştırılması da dahil olmak üzere yapay zeka yaklaşımları ile modellenen yeni bir tahmin mekanizması önermektedir. Chang ve diğ. [7], ağırlıklı gelişen bulanık sinir ağı yaklaşımına dayalı aylık elektrik talep tahminini araştırmışlardır. Bu çalışma, farklı kurallar arasında her faktörün önemini hesaplamak için ağırlıklı faktör yaklaşımı ile gelişen bulanık sinir ağı çerçevesini değiştirmeye yöneliktir. [8], istatistiksel talep tahmin tekniklerinden yapay sinir ağı modelini kullanarak, Malatya ili kuru kayısı ürününe ait yurtdışı (ihracat) talep tahmini uygulaması yapmıştır. Azadeh ve diğ. [9], konut piyasası dalgalanmalarının tahmin ve optimizasyonu için bir melez bulanık regresyon-bulanık bilişsel harita algoritmasını incelemişlerdir. Çalışmaları bulanık lineer regresyon, tahmin ve konut piyasa dalgalanmaları optimizasyonu sorunu ile başa çıkmak için bulanık bilişsel haritaya dayalı bir melez algoritma sunmaktadır. Zahedi ve diğ. [10], 1976-2005 yıllarından itibaren Kanada'nın Ontario eyaletinde elektrik talebini uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemini kullanarak modellemişlerdir. Coşgun ve diğ. [11], bulanık kural tabanlı talep tahmini yaklaşımı kullanarak deniz taşımacılığında dinamik fiyat tahminlemesi yapmışlardır. Peng ve diğ. [12], nöro-bulanık modelleme şeması ile zaman serisi tahmini yapmışlardır. Çalışmalarında zaman serisi tahmini için nöro-bulanık modellemeye dayalı bir yaklaşım önermişlerdir. Efendi ve diğ. [13], Malezya elektrik yükü talebinin günlük tahmini için bulanık zaman serisinin örneklem yaklaşımını kullanmışlardır. Azadeh ve diğ. [14], ekonomik, çevresel ve bilgi sistemleri göstergelerine dayanan bir sinirsel bulanık algoritma geliştirmişler ve gaz tüketimini tahmin etmişlerdir. Osório ve diğ. [15], kısa dönemli rüzgâr gücü tahmininde parçacık sürü optimizasyonu ve dalga dönüşümü yaklaşımlarını da birleştirerek, uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemini kullanmışlardır. Cheng ve diğ. [16], bulanık

mantık ilişkileri ve benzerlik önlemlerine dayalı bulanık zaman serisi öngörüsü çalışması yapmışlardır. Bisht ve Kumar [17], kararsız (hesitant) bulanık küme teorisine dayanan bir bulanık zaman serileri yöntemi ile Alabama Üniversitesi öğrenci kayıtlarının tahmini ve Bombay borsasında devlet bankası fiyat tahmini yapmışlardır. Hassan ve diğ. [18], makine öğrenme kullanılarak aralık tip 2 bulanık mantık ile elektrik yük talep tahmini yapmışlar, önerdikleri bu yöntemi sinirsel ağ ve uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemini ile karşılaştırmışlardır. Ye ve diğ. [19], finansal analiz tahminlemede bulanık zaman serileri kullanmışlardır. Lou ve Dong [20], elektrik yük tahminlemedeki belirsizliklerle başa çıkmak için bulanık sinirsel ağları kullanmışlardır.

Yapılan literatür taramasında, talep tahmininde kural tabanlı bulanık yaklaşım kullanımında mevsimsellik faktörünün incelenmiş olduğu bir çalışmaya rastlanmamıştır. Literatürdeki bu eksiği tamamlamak için, bu çalışmada hızlı tüketim sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin geçmiş satış verileri kullanılarak mevsimsel değişimlerin göz önüne alındığı kural tabanlı bulanık mantık yaklaşımıyla gelecek dönem talep tahminleri elde edilmiştir. Talep tahmin çalışmasında, sonuçlar basit mevsimsellik yaklaşımı da kullanılarak zaman serileri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında talep tahmini ve tahmin yöntemleri anlatılmıştır. Üçüncü kısmında bulanık mantık teorisi açıklanmış, kural tabanlı bulanık mantık sistemi aşama aşama gösterilmiştir. Yönetimin hızlı tüketim sektöründe uygulaması dördüncü bölümde yapılmıştır. Beşinci kısımda sonuçlar zaman serileri ile karşılaştırılmış ve çalışmanın son bölümünde sonuçlar özetlenmiş, gelecek araştırmalar için öneriler sunulmuştur.

2 Talep tahmini

Tahmin, gelecekte ortaya çıkacak olayların neticesini önceden hesaplayarak kestirmektedir. Diğer bir ifadeyle; tahmin, geçmiş dönemlerde meydana gelmiş olay/olayların sonuçlarını değerlendirerek gelecek dönem/dönemlerde meydana gelebilecek olayların sonuçlarını önceden görebilmektir. Tahmin değerleri ile gerçekleşen değerler arasında farklara "tahmin hataları" denilmektedir [21].

Talep tahmini, bir hizmet veya ürün için belirli bir gelecek zaman içindeki satışlarının en doğru ve hatasız şekilde hesaplanması işlemidir. Talep ölçümü ise talebin niceliksel tahminlerinin yapılmasına ilişkin faaliyetler bütünüdür. Satış tahmini, bir endüstri veya bir firmanın bir pazar dilimine satmayı umduğu mal ve hizmet miktarıdır [22].

Talep tahminlerinin yapılmasında kullanılacak çeşitli metotlar vardır. Belirli bir yöntemle göre yapılacak tahminler, sezgiye dayalı yapılan tahminlerden daha gerçekçi olduğu gibi, hiçbir tahminden de %100'lük bir doğruluk derecesi beklenemez. Bu bağlamda bilimsel yöntemlerin kullanıldığı tahmin etmede uzman kişilerin sezgi ve tecrübelerine ihtiyaç duyulmaktadır [23].

2.1 Talep tahmin çeşitleri

Talep tahminleri içerdikleri periyot uzunluklarına göre üç ayrı gruba ayrılır:

- Uzun dönemli talep tahminleri: Yeni tesis kurma, mevcut tesisi büyütme ve yeni teknolojileri kullanmaya yönelik uzun süreli iş planlarında kullanılır. Öngörülen yatırım süresi, uzun dönemli talep tahminleri için yatırım süresini belirlemede

temel alınan faktördür. Bu uzun zamandan dolayı bu tür tahminler, yüksek seviyede belirsizliğe, düşük ayrıntıya ve sonuç olarak düşük doğruluk düzeyine sahiptir [23],

- ii. Orta dönemli talep tahminleri: Tedarik süresi belirsiz veya uzun olan malzeme alımlarında ve talebi mevsimsel dalgalanma gösteren mamul stoklarının planlanması durumlarında kullanılır. Altı aydan başlayarak beş yıla kadar uzanan bir süreyi kapsayabilirler [8],
- iii. Kısa dönemli talep tahminleri: Kısa dönemli siparişler ve malzeme gereksinimleri ile kısa dönemli planlamalarda kullanılır. Kısa dönemli talep tahminleri için öngörülen tahmin süresi, hazırlık süresine en az bir imalat döneminin ilave edilmesi kadardır [23].

2.2 Talep tahmin yöntemleri

Talep tahmin tekniklerini temel olarak; nitel ve sayısal tahmin teknikleri olarak ikiye ayrılmaktadır [24]. Nitel teknikler, sübjektif veya yargısal teknikler olarak da isimlendirilmektedir. Sayısal teknikler teriminde ima edilen ise, matematiksel bir metot olmasıdır. Sayısal teknikler bilgisayar programlarının hızla gelişmesiyle uygulamalara başarılı katkılar sağlamakta ve bu yüzden de gittikçe popüler olmaktadır.

2.2.1 Yapısal olmayan yaklaşımlar

Bu yaklaşım bütünüyle sezgi ve deneyim temellidir. Kişilerin görüşlerini temel alan bu yaklaşımda öznel yargılar ön plandadır.

2.2.2 Yapısal-niteliksel teknikler

Geçmiş dönemlere ait istatistiksel verinin olmadığı, var olan bilgilerin yetersiz olduğu veya öznel yargıların çokça yer aldığı durumlarda uygulanırlar. Bu yöntemde kullanılan yaklaşımlar, Delphi Yönteminin kullanılması, rakip firmaların incelenmesi, pazar araştırması, uzman kişilerinin görüşlerinin toplanması, müşteri görüşmeleri ve panelleri ile ömür eğrileri olarak sıralanabilir [23].

2.2.3 Yapısal-niceliksel yöntemler

Çok etmenli analizler ve zaman serileri gibi istatistiksel hesaplamaya dayanan yaklaşımlardır.

2.2.3.1 Çok etmenli analizler

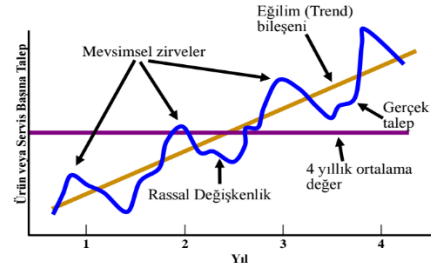
Çok etmenli analizler üç kategoride incelenebilir: Çoklu regresyon, ekonomik teknikler, girdi-çıkıtlı modelleridir. Talep tahmininin salt zaman boyutunda dikkate alınmayıp, uygun istatistik ve matematik teknikler ile çok sayıda etmenin etkisi incelenerek tahmin yapmada yararlanıldığı analizlerdir. Geniş kapsamlı ve uzun dönemli tahminler yapılabilir. Talebin T, tüketici gelir düzeyinin G, fiyatın F ve rakip malın fiyatının R ile ifade edildiği bir modelde ilişki şu şekilde olur (Eşitlik 1);

$$T = f(G, F, R) \quad (1)$$

Talep tahmininde ekonomik verilerden yararlanırken dikkat edilmesi gereken iki husus vardır: Talep ile gösterge arasındaki ikili bağlantı, sonraki dönemlerde aynen devam etmeyebilir. Talebin değişiminde etkili olan diğer faktörlerin oranları gelecekte farklılık gösterebilir [23].

2.2.3.2 Zaman serisi analizleri

Geçmişe ait bilgilerin zamanla değişimini gösteren bir dizi değer, bir zaman serisi meydana getirir. Zaman serisi analizi sayesinde bu verilerin değişimi incelenir ve sürecin tepkisine göre bir model oluşturulur. Bu model ile de geleceğe yönelik tahminler yapılır. Zaman serilerinin bileşenleri; Eğilim (Trend), Döngüsellik, Mevsimsellik, Rassallık (Doğal afetler, kazalar vb.) olarak özetlenebilir (Şekil 1).



Şekil 1: Zaman serisi bileşenleri [23].

Zaman serileri, ortalama bazlı teknikler, eğilim trend bazlı teknikler, regresyon analizi ve mevsimlik değişim bazlı teknikler olarak ele alınmaktadır. Ortalama bazlı yöntemlerde; son dönem talebi yöntemi, basit ortalama yöntemi, hareketli ortalama yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi, ağırlıklı hareketli ortalama yöntemi ve üstel ağırlıklı hareketli ortalama yöntemleri mevcuttur.

Ağırlıklı ortalama yöntemi, şu şekilde açıklanabilir: Eğer belirli dönemlerin verileri, gelecek dönemler için kesin bir yargı veriyorsa ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemdeki temel düşünce geçmişteki verilerin ağırlıklarının aynı olmamasıdır.

$$D^* = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i * D_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2)$$

Eşitlik 2'ye göre, D^* : tahmini talep değeri

D_i : i. dönem için gerçekleşen talep değeri

W_i : i. dönemin gerçekleşen satış değerinin talep tahminine etkisi

n : eldeki geçmiş dönem veri sayısıdır.

Eğilim trend bazlı teknikler ve regresyon analizinde, hata karelerinin toplamı en küçüklenmektedir. Regresyon analizi geçmiş verilerin tümünü dikkate alarak eğilim doğrusunun/eğrisinin hesaplanmasına ve bu doğru/eğri aracılığıyla tahminde bulunulmasına olanak veren bir yöntemdir.

$$Y_i = a + b * X_i + e_i \quad (3)$$

$$\bar{Y}_i = a + b * X_i \quad (4)$$

$$e_i = Y_i - \bar{Y}_i = Y_i - (a + b * X_i) \quad (5)$$

Burada (Eşitlik 3-5), Y geçmiş talep değerlerini, X dönem numaralarını ve N geçmiş talep dönemi sayısını ifade etmektedir. En küçük kareler yöntemiyle, veriler kullanılarak (a , b) parametreleri hesaplanır. Parametreler yerleştirildikten sonra, rastgele bir dönem için tahmini talep bulunur. Bu yöntem; hata terimlerinin kareleri toplamını en küçükleyecek biçimde parametrelerin tahmini değerlerinin hesaplanmasına olanak sağlar.

Geçmiş dönemlere ilişkin tahmin değerleri toplamı da, geçmiş dönemlerdeki gerçekleşen satışlar toplamına eşittir.

($Y=a+b \cdot X$) doğrusal regresyon fonksiyonu için bu denklemler (Eşitlik 6-9) şunlardır;

$$\sum Y = N \cdot a + b \cdot \sum X \quad (6)$$

$$\sum (X \cdot Y) = a \cdot \sum X + b \cdot \sum X^2 \quad (7)$$

$$b = \frac{N \cdot \sum (X \cdot Y) - \sum X \cdot \sum Y}{N \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (8)$$

$$a = \sum Y/N - b \cdot (\sum X/N) \quad (9)$$

Mevsimlik değişim bazlı teknikler, geçmiş dönemlerin satış verilerinde mevsimsel dalgalanmaların gözlemlenmesi durumunda en uygun sonuçları veren yöntemdir. Bu yöntemde sırasıyla şu işlemler uygulanır:

- Herhangi bir tahmin yöntemi (Regresyon Analizi, Üstel Düzeltme Yöntemi vb.) ile tahmin değerleri hesaplanır,
- Geçmiş dönemlere ait mevsimlik düzeltme indeksleri hesaplanır ve bunların mevsimler bazındaki ortalamaları bulunur. Bu hesaplama yapılırken en az 3 farklı yıl alınmalıdır,
- Bu ortalama düzeltme indekslerinden yararlanarak, tahmin yapılacak döneme ilişkin mevsimler bazında tahmini satış değerleri bulunur [23].

3 Bulanık mantık

Günlük hayatta kesin olarak bilinmeyen, bazen de sanki kesinmiş gibi düşünülen ancak kesinlik arz etmeyen durumlarla karşılaşmaktadır. Bu bilinmezlik ve karmaşıklık içeren sorunlara çözüm yolları ancak birtakım kabul ve varsayımlarla mümkün olabilmektedir. Şu ana kadar yapılan mühendislik araştırmalarında ve modellemelerde varsayım, kabul ve kavramlara kesinlik kazandırmak için değişik çalışmalar oluşturulmuştur. İncelenen bir sistemin karmaşıklığı ne kadar fazla ise ve yeterli veri bulunamazsa bulanıklık o kadar etkili olur. Bu sistemlerin çözümlerinin araştırılmasında, bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve yararlı çözüm çıkarımlarının yapılması yoluna gidilebilmektedir. Sayısal verinin az olduğu ve/veya yalnızca belirsiz verinin mevcut olduğu karmaşık sistemler için, bulanık mantık, sistem davranışını yaklaşık olarak anlayarak bir sonuç çıkarmamızı sağlar [1]. Bulanık kümeler hakkında ilk bilgi, Lutfi A. Zadeh tarafından Amerika'da ortaya atılmıştır [2].

3.1 Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonu

Zadeh [2] bulanık kümeyi, sürekli dizi halindeki üyelik derecelerine sahip nesnelere oluşan bir sınıf olarak tanımlamıştır. Bu tip bir küme, bir üyelik fonksiyonu ile tanımlanmış olup her bir nesneye 0 ile 1 arasında bir üyelik derecesi atar. Buradaki, 0 sayısı, ilgili nesnenin kümeye ait olan bir üye olmadığını; 1 sayısı, ilgili nesnenin kümenin tam üyesi olduğunu ve 0 ile 1 arasındaki herhangi bir sayı ilgili nesnenin kümeye üyelik derecesini veya kısmi üyeliğini gösterir [1].

Gerçek dünyada sınırlar çok keskin değildir. Aksine olayların belli bir esneklikte olması istenmektedir. Klasik mantık ikili mantık sistemi olmasına karşın, bulanık mantık sadece iki

değerli değil çok değerli bir mantık sistemidir. Bir önermenin klasik mantıkta karşılığı ya doğrudur ya da yanlıştır. Klasik mantıkta siyah ve beyaz dünyalar vardır; gerçek asla hem siyah hem beyaz, yani gri olamaz. Bulanık mantık ise gerçeğin her zaman o kadar kesin olmayacağını, doğrunun bir derecesi olduğunu ifade eder. Bir önerme az doğru ya da çok doğru türünde ifade edilebilir [25].

3.2 Üçgen sayılar ve işlemler

Eğer $A \in (-\infty, +\infty)$ ' da, söz konusu kümenin bir elemanı ise $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu $R \rightarrow [0, 1]$ aralığında oluşur. Diğer bir deyişle A kümesi $A = [a_1, a_3]$ aralığında ise genel olarak $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu (Eşitlik 10) formülüyle gösterilebilir.

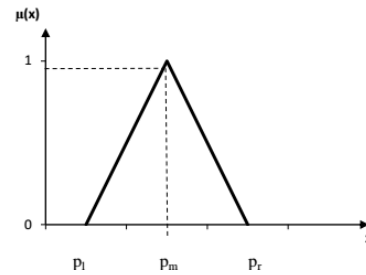
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ 1, & a_1 \leq x \leq a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \quad (10)$$

Üyelik fonksiyonları genellikle, üçgen üyelik fonksiyonları (Şekil 2) ve yamuk üyelik fonksiyonları olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir. Bu çalışmada üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.

$\mu_A(x)$ üçgen üyelik fonksiyonu, Eşitlik (11)'de tanımlanmıştır [26].

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (11)$$

Eşitlik (11)'e göre küme, $A = (a_1, a_2, a_3)$ olmalıdır. Burada a_2 normal değerli üyelik olarak tanımlanabilir. Bulanık mantık bu noktada bir α katsayısına bağlı olarak a_2 'ye yakın değerlerin, bu değere yüklenen anlam ile temsil edileceğini varsaymaktadır.



Şekil 2: Üçgen bulanık sayı üyelik fonksiyonu.

Üçgen bulanık sayılarda işlemleri şu şekilde sıralayabiliriz [1]:

Toplama:

$$\tilde{M} \oplus \tilde{N} = (m_l + n_l; m_m + n_m; m_r + n_r) \quad (12)$$

Çıkarma:

$$\tilde{M} \ominus \tilde{N} = (m_l + n_r; m_m - n_m; m_r - n_l) \quad (13)$$

Çarpma:

$$\tilde{M} > 0, \tilde{N} > 0 \text{ iken}$$

$$\tilde{M} \otimes \tilde{N} \cong (m_l n_l; m_m n_m; m_r n_r) \quad (14)$$

$\tilde{M} < 0, \tilde{N} > 0$ iken,

$$\tilde{M} \otimes \tilde{N} \cong (m_l n_r; m_m n_m; m_r n_l) \quad (15)$$

$\tilde{M} < 0, \tilde{N} < 0$ iken,

$$\tilde{M} \otimes \tilde{N} \cong (m_r n_r; m_m n_m; m_l n_l) \quad (16)$$

Bölme:

$\tilde{M} > 0, \tilde{N} > 0$ iken,

$$\tilde{M} \oslash \tilde{N} \cong \left(\frac{m_l}{n_r}; \frac{m_m}{n_m}; \frac{m_r}{n_l} \right) \quad (17)$$

$\tilde{M} < 0, \tilde{N} > 0$ iken,

$$\tilde{M} \oslash \tilde{N} \cong \left(\frac{m_r}{n_r}; \frac{m_m}{n_m}; \frac{m_l}{n_l} \right) \quad (18)$$

$\tilde{M} < 0, \tilde{N} < 0$ iken,

$$\tilde{M} \oslash \tilde{N} \cong \left(\frac{m_r}{n_l}; \frac{m_m}{n_m}; \frac{m_l}{n_r} \right) \quad (19)$$

Ters alma:

$$\widetilde{M^{-1}} \cong \left(\frac{1}{m_r}; \frac{1}{m_m}; \frac{1}{m_l} \right) \quad (20)$$

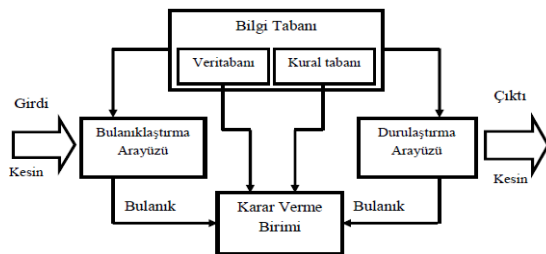
Skaler sayı ile çarpma:

$$\forall \lambda > 0, \lambda \in \mathcal{R}, \lambda \odot (m_l; m_m; m_r) = (\lambda m_l; \lambda m_m; \lambda m_r) \quad (21)$$

$$\forall \lambda < 0, \lambda \in \mathcal{R}, \lambda \odot (m_l; m_m; m_r) = (\lambda m_r; \lambda m_m; \lambda m_l) \quad (22)$$

3.3 Kural tabanlı bulanık yaklaşım

Kural tabanlı bulanık yaklaşım, temel olarak bulanık küme teorisi, bulanık eğer-ise kuralları ve bulanık çıkarım kavramlarına dayanır. Kural tabanlı bulanık yaklaşım, 'Eğer... İse...' ifadelerini ve gerekli karar kurallarını oluşturmak için 'veya' ile 've' bağlaçlarını kullanır. Şekil 3'te görüldüğü gibi kural tabanlı bulanık sistem yaklaşımı, Eğer-İse kuralını içeren kural tabanı, üyelik fonksiyonunun tanımlandığı veri tabanı, kurallara dayalı sonuç çıkarım işlemlerini yapan karar verme birimi, kesin verileri dilsel ifadelerle dönüştüren bulanıklaştırma ara yüzü ve bulanık sonuçları kesin çıktılara dönüştüren bir durulaştırma ara yüzünden oluşmaktadır [27].



Şekil 3: Bulanık çıkarım sistemi [28].

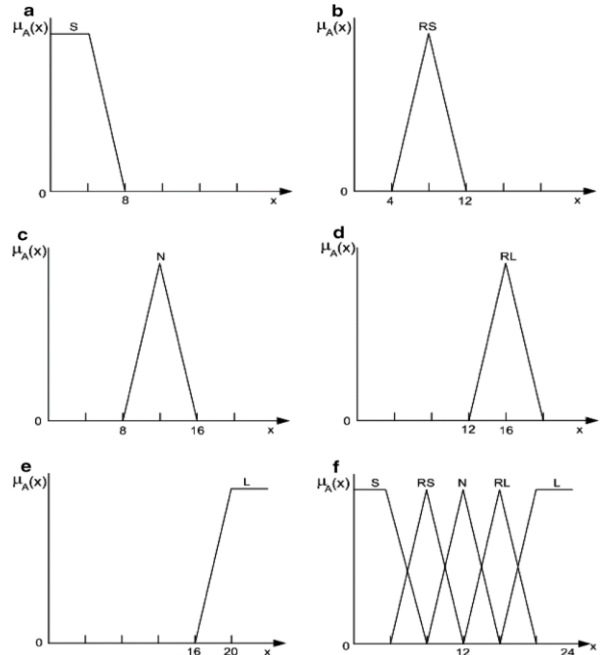
Lau ve diğ. [5], çalışmasından yararlanılarak kural tabanlı bulanık yaklaşımın aşamaları şu şekilde açıklanabilir:

- i. **Durum Analizi:** Bulanık yaklaşımın ilk aşaması sorunun araştırılarak durum analizinin yapılmasıdır. Bu süreç, problem analizi, bilgi alanı gibi amaç ve

misyonların belirlenmesini gerektirir. Problem analizi sorunun ne kadar ciddi olduğuyla ilgilidir. Durum analizi için tüm veri gerekli olmayıp sınıflandırılmış olarak seçilen veriler yeterlidir,

- ii. **Veri Toplama:** Verinin bulanık sisteme gönderilmeden önce doğru biçimde ve boyutta dönüştürülmesi gerekir. Bunun nedeni dış dünyadan alınan verilerin sayısal, iki değerli, dilsel, istatistiksel ve net değer kümesi olarak farklı biçimlerde bulunmasıdır. Buna ek olarak, veri kümesinin boyutu da değerlendirilme için önemli bir faktördür. Veri boyutu, giriş veri seti doğruluğunu etkileyebilir. Fazla veri işleme hızını yavaşlatırken veri yetersizliği istenilen bir durum değildir,
- iii. **Bilgi Yakalama:** Gerekli bilgi, ilgili veriden alınıp bulanık sistemin bir parçası 'eğer-sonra' kurallarına dönüştürülmelidir. Uzman bilgilerine dayanarak elde edilen bütün bulgular kurallarıyla gösterilir. Oluşturulan kurallar blok sisteminin önemli bir parçası olarak kabul edilir.

Şekil 4'te bulanık kümenin girdi ve çıktıları grafikte gösterilmektedir.



Şekil 4: Bulanık küme girdi ve çıktıları.

- iv. **Bulanıklaştırma:** Bulanıklaştırma kesin sayıların bulanık sayılara dönüştürülmesi sürecidir. Bulanıklaştırma sürecini yürütmek için, iki temel faktör belirlenmelidir: kümenin elemanları ve üyelik fonksiyonu. Amaç üyelik fonksiyonu ile bulanık kümelerin genel özelliklerinin belirlenmesidir. Küme farklı değerlere göre birkaç bölgeye ayrılmaktadır. Bu bölgeler kısa (S), çok kısa (RS), normal(N), oldukça uzun (RL) ve uzun (L) şeklinde isimlendirilir. Bu göstergeler özel şekillere, yüksekliklere ve çizgi stillerine sahip olup üyelik derecelerini yansıtır. Bulanık modellemede kullanılan girdi ve çıktılar genellikle kullanımı basit olmasından dolayı üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılır [27].

- v. **Bulanık Çıkarım Motoru:** Bulanık motor bulanık sistemin ikinci aşamasıdır. Çıkarım sürecinde girdiyi çıktıya dönüştüren temel prodestir. Başlıca operasyon girdiyi çıktıya çıkarımlar ile dönüştürmektir. Çıkarım süreci aşağıdaki aşamalarda gerçekleşir.
- ✓ **Kural Blok Oluşumu:** Bir takım bulanık kurallardan oluşur ve belirli ölçütlere göre çalışır. Kuralların sayısı ilişkili bulanık sistemin karmaşıklığı doğrultusunda belirlenmiştir. Bulanık kural iki bölümden, yani bir Eğer (IF) parçası ve bir İse (THEN) parçasından oluşmaktadır. Geleneksel kural tabanlı bir mekanizmanın aksine, bulanık kurallar kesin olmayan belirsiz ve muğlak terimler kullanılmasına izin verir. Bulanık veri kurallarının öncülleri ve sonuçları belirlenir ('ise' ibaresinden önce ve sonra). Kurallar kolayca aranabilen tablo formatında görüntülenebilir hale getirilir. Örneğin, kural dahilinde 'EĞER ortalama süre oldukça uzun VE ortalama müşteri sayısı oldukça az VE ortalama miktar normal seviyede İSE sonunda envanter biraz azalmış olur' şeklinde 'eğer' kısmı üç girdi bölümü içerir ve bunlardan iki tanesi 've' bağlacıyla bağlanır. Satır ve sütunların kesişimi olan hücre çıktı sonuçlarıdır. Ortalama zaman, ortalama müşteri sayısı ortalama miktar gibi herhangi üç girdi 'eğer-sonra' kural bloğu temelinde kurulabilir,
- ✓ **Kural Bileşimi:** Üç üyelik değerinin son kural girdisine göre hesaplanma sürecidir. Farklı temel mantık operatörleri farklı hesaplama metotları içerir. Örneğin, yukarıda belirtilen kuralı kullanarak varsayılan (0.63, 0.71, 0.43) girdi bulanık kümelerden hesaplanabilir. Kurala göre, operatör 'VE' üç girdiyi bağlamak için kullanılır, böylece en küçük değer 0.43 bileşimin bir sonucudur,
- ✓ **Kural Ateşleme:** Kural ateşleme hangi bulanık kuralın aktive edileceğinin yani uygunluğunun denetlenmesi işlemidir. Aktive edilen kurallar daha sonraki analizlerde kullanılmak üzere seçilir. Bu aktivasyon sürecine de ateşleme denir,
- ✓ **Çıkarım:** Mamdani, Larsen ve Lukasiewicz operatörleri gibi farklı gösterge operatörleri ile birleşimin sonuçları kullanılarak, kuralların 'İSE' kısmı işaret edilir. Farklı operatörler çeşitli matematiksel hesaplamalar içeren farklı çıkarımlar üretir. Çıkarım operatörleri iki grupta sınıflandırılabilir; birinci grup orantılı bir sonuç üretmek içindir, diğer grup ise tersine orantılı sonuçlar üretir. Her ateşlenen kural kendi çıkarım sonuçlarına sahiptir,
- ✓ **Birleştirme-Toplama (Aggregation):** Bu yöntemde tüm nihai çıkarımlar bir sonuçta toplanır. Bu bulanık çıkarım motordaki son işlemidir. Tüm çıkarım sonuçları bir toplama işleci tarafından çıkış bulanık kümesini oluşturması için işlenir. Farklı çıkarım operatörleri kesişim ve birleşim gibi farklı birleştirme operatörleriyle eşlenirler. Mamdani ve Larsen operatörleri birleşim işlemi yaparken, Lukasiewicz operatörü kesişim ile kullanılır.
- vi. **Durulaştırma:** Bu aşama bulanık sistemdeki son aşamadır. Kesin ya da dilsel değerler durulaştırma sürecinde elde edilir. Kesin değerler yalnızca sayısal değerlere ihtiyaç duyulan kontrol operasyonları boyunca çeşitli endüstrilerde ve kontrol

sistemlerinde kullanılır. Pek çok durulaştırma yöntemi vardır. Bunlardan bazıları şöyledir: En büyük üyelik ilkesi yöntemi, ağırlık merkezi yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi, ortalama en büyük üyelik yöntemi, toplamların merkezi yöntemi, en büyük alanın merkezi yöntemi, en büyüklerin ilki ya da sonuncusu yöntemi, en büyüklerin ortalaması yöntemi. Ağırlık merkezi yöntemi, en çok kullanılan durulaştırma yöntemidir. Üyelik fonksiyonunun altındaki alanın ağırlık merkezini veya kitle merkezini hesaplar.

4 Uygulama

Talebin önceden tahmin edilmesi birçok sektörde olduğu gibi hızlı tüketim sektöründe de ayakta kalabilmek ve müşteri memnuniyetini sağlamak için gerekli bir pazarlama politikasıdır. Satış koşullarının, pazarlama politikalarının sürekli değiştiği ve bunlara bağlı olarak karar almanın zorlaştığı bu sektörde değişikliklere, yeniliklere her an açık olmak gerekmektedir. Organizasyonun sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için gelecek satışları tahmin edebilmek önemli bir faktör olmuştur. Bu çalışmada İstanbul'da faaliyet gösteren bir hızlı tüketim firmasının geçmiş satış bilgilerinden faydalanılarak gelecek aylar için talep tahmin çalışması kural tabanlı bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır. Bu uygulamanın amacı, işletmenin üretim kararı vermesine yardımcı olacak bir tahmin modelinin oluşturulmasıdır. Elde edilen sonuçlar zaman serileri yaklaşımı da kullanılarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek ileriye yönelik tahminlerde kural tabanlı bulanık mantığın etkinliği gösterilmiştir. Uygulama aşamaları aşağıdaki sırayla gerçekleştirilmiştir:

İşletmeye ait son üç yılın, on iki aylık satış verileri TL cinsinden Tablo 1'de verilmiştir. Bu verilerden yararlanılarak kural tabanlı talep tahmini yöntemi kullanılarak gelecek dönem tahmini yapılacaktır.

Tablo 1: Aylık veriler.

Ay	Satış (TL)	Ay	Satış (TL)	Ay	Satış (TL)
Nis.13	10849387	Nis.14	10689519	Nis.15	11288183
May.13	12787945	May.14	11656634	May.15	13273755
Haz.13	13812653	Haz.14	12122847	Haz.15	12317405
Tem.13	11473323	Tem.14	11412261	Tem.15	10388846
Ağu.13	14349552	Ağu.14	14324659	Ağu.15	11099299
Eyl.13	11989307	Eyl.14	14649335	Eyl.15	10816864
Eki.13	9967781	Eki.14	10715925	Eki.15	12908227
Kas.13	11690528	Kas.14	10421279	Kas.15	9408491
Ara.13	12143664	Ara.14	11379607	Ara.15	10496534
Oca.14	9470238	Oca.15	9215585	Oca.16	7680230
Şub.14	11533917	Şub.15	9439757	Şub.16	9995908
Mar.14	11288445	Mar.15	12976662	Mar.16	10301895

Talep değişimleri basit mevsimsel zaman serisi analizi kullanılarak hesaplanmıştır. Şirkete ait üç yıllık verilerden yararlanılarak aynı yıl bir önceki aya göre değişim oranları ve geçmiş yıl aynı aya ait satışlardaki değişim oranları hesaplanmıştır. Buna göre girdi değişkenler aylık değişim oranı ve yıllık değişim oranı olarak belirlenmiştir. Çıktı ise yapılan satış değişim oranıdır. Değişkenler oransal yapıya dönüştüğü

için -1 ile 1 arasındadır. Talep değişimine bu değişkenler etki ettiği için seçilmiştir.

Verilerin ışığında iki girdi içinden maksimum ve minimum değerler bulunmuştur. Bu değerler, aya göre yapılan hesaplamalarda en düşük -0.271, en yüksek 0.375 olarak elde edilmiştir. Yıl baz alınıp yapılan hesaplamalarda ise en düşük -0.262, en yüksek 0.222 olarak çıkmıştır. Bu minimum maksimum verilerini kullanarak tüm değerleri içerecek bir üyelik fonksiyon grafiği çıkarılmıştır. Bulanık kümelerin genel özelliklerinin belirlenmesi için minimum ve maksimum değerler dikkate alınarak bulanıklaştırma işlemi yapılmıştır. Ay ve yıla göre değişim miktarlarındaki ortalama değerler Tablo 2’de gösterilmiştir. Ortalama değerler bulanık küme yaklaşımında üyelik derecesinin belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Mevcut küme ait olduğu farklı değerlere göre birkaç bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgeler çok azalış (LD), azalış (D), az azalış (SD) sabit (ST), az artış (SI), artış (I) ve çok artış (LI) şeklinde isimlendirilmiştir.

Tablo 2: Ay ve yıla göre değişim miktarları.

Bir Önceki Aya Göre Değişim		Bir Önceki Yıla Göre Değişim	
	-0.053	-0.015	0.056
0.179	0.09	0.176	-0.088
0.08	0.04	-0.072	-0.122
-0.169	-0.059	-0.157	-0.005
0.251	0.255	0.068	-0.002
-0.164	0.023	-0.025	0.222
-0.169	-0.269	0.193	0.075
0.173	-0.027	-0.271	-0.109
0.039	0.092	0.116	-0.063
-0.22	-0.19	-0.268	-0.027
0.218	0.024	0.302	-0.182
-0.021	0.375	0.031	0.15
Ort: 0.013		Ort: -0.033	

Bölgelere göre belirlenen kural tablosu Tablo 3’teki gibidir. Tablodan da görüldüğü gibi yedi farklı duruma karşılık kırk dokuz farklı kural vardır. Bu kurallar çerçevesinde değerlerin kaldığı bölgelere göre atamalar yapılmaktadır.

Tablo 3: Ele alınan problem için bulanık sistem kural tablosu.

	LD	D	SD	ST	SI	I	LI
LD	LD	LD	D	D	SD	SD	ST
D	LD	D	D	SD	SD	ST	SI
SD	D	D	SD	SD	ST	SI	SI
ST	D	SD	SD	ST	SI	SI	SI
SI	SD	SD	ST	SI	SI	SI	I
I	SD	ST	SI	SI	SI	I	I
LI	ST	SI	SI	SI	I	I	LI

Çıktı sonuçları belirlenirken güvende kalabilmek için düşüş tarafına öncelik verilmiştir. Yani azalış (D) ve az artış (SI) durumlarının sonucu olarak az azalış (SD) durumu seçilmiştir. Şekil 5 ve Şekil 6’dan aylık, yıllık değişim verilerine ait küme ve bölgelere yer verilmiştir.

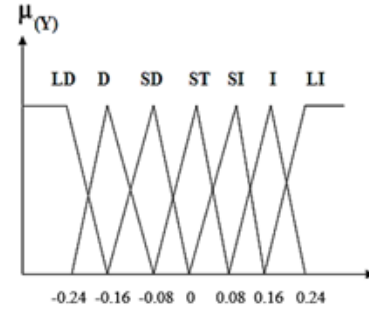
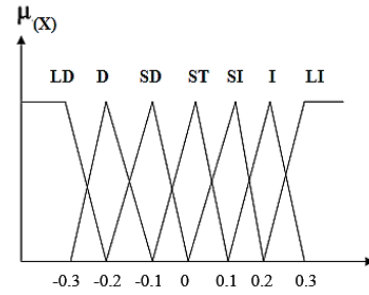
Aylık bazda üyelik fonksiyonlar $\mu_{SI}(a)$, $\mu_{ST}(a)$ ve yıllık bazda üyelik fonksiyonlar $\mu_{SD}(y)$, $\mu_{ST}(y)$ matematiksel forma aşağıdaki gibi dönüştürülmüştür (Eşitlik 23-26):

$$\mu_{SI}(a) = \begin{cases} \frac{a}{0.1} & 0 \leq a \leq 0.1 \\ \frac{0.2 - a}{0.1} & 0.1 \leq a \leq 0.2 \end{cases} \quad (23)$$

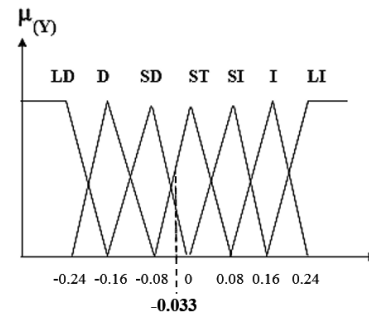
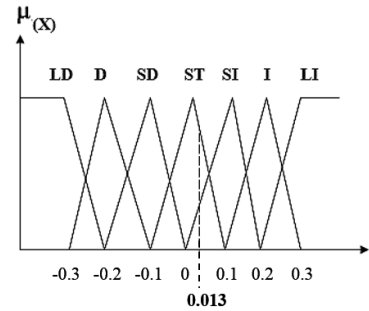
$$\mu_{ST}(a) = \begin{cases} \frac{a + 0.1}{0.1} & -0.1 \leq a \leq 0 \\ \frac{0.1 - a}{0.1} & 0 \leq a \leq 0.1 \end{cases} \quad (24)$$

$$\mu_{SD}(y) = \begin{cases} \frac{y + 0.16}{0.08} & -0.16 \leq y \leq -0.08 \\ \frac{0 - y}{0.08} & -0.08 \leq y \leq 0 \end{cases} \quad (25)$$

$$\mu_{ST}(y) = \begin{cases} \frac{y + 0.08}{0.08} & -0.08 \leq y \leq 0 \\ \frac{0.08 - y}{0.08} & 0 \leq y \leq 0.08 \end{cases} \quad (26)$$



Şekil 5: Aylık ve yıllık değişim verilerine ait küme girdi-çıkartıları.



Şekil 6: Aylık ve yıllık veri ortalamasının bulunduğu bölge.

Ortalama değerler olan 0.013 ve -0.033 ifadelerini yukarıdaki üyelik fonksiyonu denklemlerinde yerlerine konulduğu zaman aşağıdaki tablolar oluşur.

Aylık bazda üyelik fonksiyonları incelendiğinde, üyelik derecesi 0 ile 0.2 arasında bir değer aldığı anda aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$\mu_{SI}(a) = \begin{cases} \frac{a}{0.1} & 0 \leq a \leq 0.1 \\ \frac{(0.2 - a)}{0.1} & 0.1 \leq a \leq 0.2 \end{cases}$$

Diğer taraftan üyelik derecesi -0.1 ile 0.1 arasında değer aldığı anda takip eden eşitlik dikkate alınır.

$$\mu_{ST}(a) = \begin{cases} \frac{a + 0.1}{0.1} & -0.1 \leq a \leq 0 \\ \frac{0.1 - a}{0.1} & 0 \leq a \leq 0.1 \end{cases}$$

Örneğin, a=0.013 için Eşitlik (23) ve (24)'te yerine konulduğunda elde edilen üyelik değerleri

$$\mu_{0.013} = \mu_{ST}(a)|_{a=0.013} = 0.87$$

$$\mu_{0.013} = \mu_{SI}(a)|_{a=0.013} = 0.13$$

şeklinde olmaktadır.

Yıllık bazda üyelik fonksiyonları incelendiğinde, üyelik derecesi -0.016 ile 0 arasında bir değer aldığı anda aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$\mu_{SD}(y) = \begin{cases} \frac{y + 0.16}{0.08} & -0.16 \leq y \leq -0.08 \\ \frac{0 - y}{0.08} & -0.08 \leq y \leq 0 \end{cases}$$

Diğer taraftan üyelik derecesi -0.08 ile 0.08 arasında bir değer aldığı anda aşağıdaki eşitlik kullanılır:

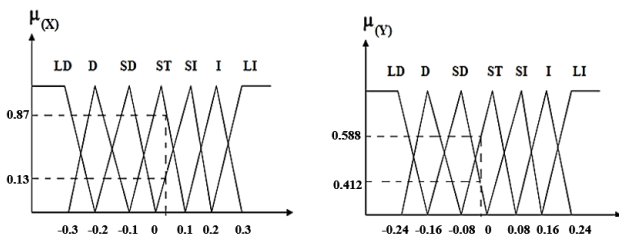
$$\mu_{ST}(y) = \begin{cases} \frac{y + 0.08}{0.08} & -0.08 \leq y \leq 0 \\ \frac{0.08 - y}{0.08} & 0 \leq y \leq 0.08 \end{cases}$$

Örneğin, y=-0.033 için eşitlik (25) ve (26)'da yerine konulduğunda elde edilen üyelik değerleri

$$\mu_{-0.033} = \mu_{ST}(y)|_{y=-0.033} = 0.588$$

$$\mu_{-0.033} = \mu_{SD}(a)|_{y=-0.033} = 0.412$$

Bulanık kümeye ve üyelik değerlerine karar verildikten sonra kural bloğundan farklı kurallara karar verilir. Şekil 7'de üyelik değerlerine yer verilmektedir.



Şekil 7: μ_X ve μ_Y için üyelik değeri.

Mevcut grafiklerde ortalama değerlerinin denk geldiği aralıklar ilk grafikte ST ve SI alanları iken ikinci grafikte ise ST ve SI alanlarıdır. Bu sebeple kural tablosundan alınacak kurallar bu ikişer alanın birbiriyle ilişkilerinden doğacak olan kurallardır. Tablo 4'te bölgelere göre dört farklı kural yer almaktadır.

Tablo 4: Bölgelere göre kuralların seçilmesi.

Kural 1	Eğer bir önceki aya göre değişim ST ve bir önceki yıla göre değişim SD ise değişim SD olur.
Kural 2	Eğer bir önceki aya göre değişim ST ve bir önceki yıla göre değişim ST ise değişim olmaz.
Kural 3	Eğer bir önceki aya göre değişim SI ve bir önceki yıla göre değişim SD ise değişim olmaz.
Kural 4	Eğer bir önceki aya göre değişim SI ve bir önceki yıla göre değişim ST ise değişim SI olur.

Tablo 5'e göre birleşim kuralları hesaplanır. Buna göre birleşimde en küçük değer alınmaktadır. \wedge fonksiyon kesişimini ifade etmektedir.

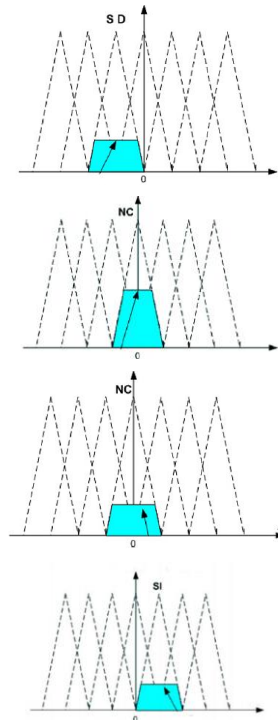
Tablo 5: EĞER kısmında kural birleşimi sonuçları.

Kural	Birleşim Kuralı
Kural 1	$(0.87 \wedge 0.412) = 0.412$
Kural 2	$(0.87 \wedge 0.588) = 0.588$
Kural 3	$(0.13 \wedge 0.412) = 0.13$
Kural 4	$(0.13 \wedge 0.588) = 0.13$

Bulanık küme çıktısına karar vermek için elde edilen dört sonuç çıkarım sürecine dahil edilir. Kural sonuçlarının uygulanması için Mamdani operatörü seçilmiştir. Mamdani operatörü Eşitlik (27)'ye dayanmaktadır.

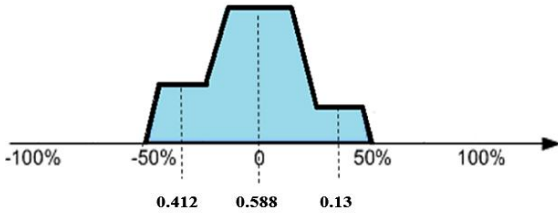
$$\mu_{(x,y)} = \emptyset [\mu_A(x), \mu_B(y)] = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) \quad (27)$$

Buna göre çıkarım operatörü \emptyset ile, girdi üyelik fonksiyonu $\mu_A(x)$ ile, çıktı üyelik fonksiyonu $\mu_B(y)$ ve kesişim fonksiyonu \wedge ile gösterilmektedir. Belirlenen dört kurala göre grafikler çizilir, hangi bölgede kaldıysa o bölgenin alan hesabı yapılır. Şekil 8'deki grafikler, belirtilen dört kural için hazırlanmış olup ilk grafik SD bölgesinde kalan alanı verir.



Şekil 8: Kural bölgeleri (çıkartım sonuçları).

Buradaki taralı alanın yükseklik değeri 0.412'dir. Tepe noktası 1 olan üçgenel bölgenin içinde kalan taban uzunluğu ise 50 olan bir yamuktur. İkinci grafik kural 2 bölgesinin grafiği ise yüksekliği 0.588 olan bir yamuktur. Üçüncü grafik kural 3'e ait olup taban uzunluğu 50, yüksekliği 0.13 olan bir yamuktur (NC: sabit). Kural 4 için oluşturulan grafik kural 3 ile aynıdır. Şekil 9'da yığma ait grafikte alanların yükseklikleri çizgilerle belirtilmiştir. Yüzde değerleri alan tabanlarının aldığı değerlerdir.



Şekil 9: Kuralların bileşimi olan yığın grafiği.

Kesin değerleri elde etmek için durulaştırma işlemi gerekmektedir. Durulaştırma işlemi için ağırlık merkezi yöntemi seçilmiştir. Genel eşitlik (28)'de verildiği gibidir. Sırasıyla w, C, A değerleri ağırlık, yer çekim merkezi ve alanı temsil etmektedir. Her çokgen için hesaplanan sonuçlar Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6: Durulaştırma işlemi için veriler.

Çokgen	Alan (A)	Yer çekim merkezi (C)	Ağırlık (w)	A*C*w	A*w
Kural 1	16.3564	-25	1	-408.91	16.3564
Kural 2	20.7564	0	1	0	20.7564
Kural 3	6.0775	0	1	0	6.0775
Kural 4	6.0775	+25	1	151.94	6.0775

$$Y = \frac{\sum_{j=1}^N w_j \overline{C_j A_j}}{\sum_{j=1}^N w_j \overline{A_j}} \quad (28)$$

$$\sum_{Kural 1}^{Kural 4} w \overline{C A} = -256.97$$

$$\sum_{Kural 1}^{Kural 4} w \overline{A} = 107.74$$

Böylece durulaştırma sonucu

$$\frac{\sum_{j=1}^N w_j \overline{C_j A_j}}{\sum_{j=1}^N w_j \overline{A_j}} = \frac{-256.97}{49.2678} = -5.215$$

olarak bulunur.

Bulanık mantık işlemlerinde, ağırlık merkezi yöntemi ile bulunan -%5.215 sonucu, satış değerinin nisan ayında, mart ayına göre %5.215'lik bir düşüş yaşanacağını göstermektedir. Buna göre; $10301895 \cdot (1 - 0.05215) = 9764651$ talep değerinin gerçekleşmesi beklenmektedir. Buna göre karar vericinin bir sonraki ay için talepte yaşanacak düşüşe göre üretim planı ve satış politikası oluşturması gerekmektedir.

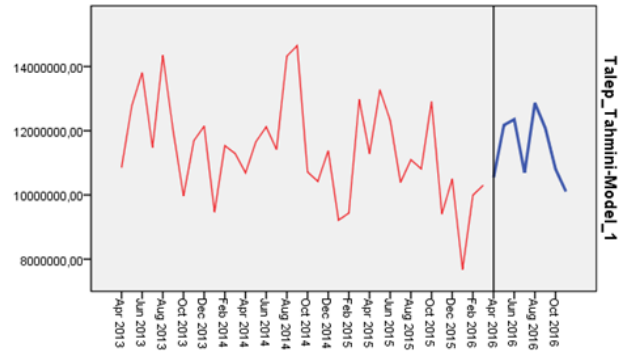
5 Zaman serileri ile karşılaştırma

İşletmenin geçmiş 36 aylık satış bilgisinden faydalanılarak gelecek dönemin talep tahmini, zaman serileri yöntemiyle yapıldığında basit mevsimsellik (simple seasonal) yaklaşımına

göre nisan ayında talep değeri 10545382.51 olarak elde edilmiştir.

Basit mevsimsellik yöntemi en yüksek ağırlığı son dönemlere vererek üstel düzeltme katsayısını kullanan bir yöntemdir. Bu yöntem veri olarak bir önceki döneme ait talep tahmini ve gerçekleşen satış değerlerini kullanır. Yöntem bu iki değer arasındaki farkı bir katsayı ile tahmine yansıtmaktadır [23]. Bu yöntemde son döneme ilişkin gerçekleşen talebe ağırlık verilmesini sağlar, düzeltme azalır. Böylece son dönemlerdeki verilerin tahmin etkisi yüksek olur. Ele alınan çalışmadaki verilerin yapısına en uygun yöntem bu tahmin aracı olduğu için tercih edilmiştir. Çalışmada da son dönemlere ağırlık verilerek bir sonraki dönemin satış tahmini yapılmaktadır.

Şekil 10'da SPSS 20 yazılımı kullanılarak zaman serileri yaklaşımıyla bulunan tahmin modeli gösterilmektedir.



Şekil 10: Zaman serileri ile talep tahmin modeli.

Kural tabanlı bulanık mantık yaklaşımı ve zaman serileri karşılaştırıldığında, elde edilen tahmin sonuçları birbirine oldukça yakındır. $\pm 7\%$ 'lik sapma söz konusudur. Bu farklılık tahmin modellerinin kabul ettiği varsayım ve çalıştırıldığı algoritmik yapıdan kaynaklanmaktadır. Örneğin zaman serilerinde trend, mevsimsellik, sezonsallık etkileri söz konusudur. Bu çalışmada bulanık modelleme ile yapılan tahminde elde edilen sonuçlar zaman serileri tahminiyle karşılaştırıldığında, bulanık modelin başarılı olduğu görülmektedir.

Kural tabanlı bulanık mantığın başarısını, üyelik fonksiyonlarının ve kural tabanının doğru biçimde belirlenmesi etkilemektedir. Örneğin, Kural 1 "Eğer bir önceki aya göre değişim ST ve bir önceki yıla göre değişim SD ise değişim ST olur" şeklinde değiştirildiğinde talep tahmini artış eğilimi göstermektedir. Buna göre işletme için altı aylık talep tahmin modelleri Tablo 7'deki gibi elde edilmektedir:

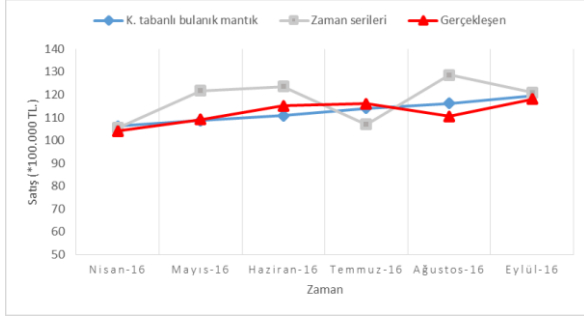
Tablo 7: Tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması.

	Kural Tabanlı Bulanık Mantık	Basit Mevsimsellik Yaklaşımı	Gerçekleşen Satış Değerleri
Nis.16	10620557.1	10545382.5	10413495.1
May.16	10866138.1	12175801.2	10917975.2
Haz.16	11079370.1	12353995.2	11505854.0
Tem.16	11411905.6	10694507.3	11610612.3
Ağu.16	11613691.1	12860871.0	11047084.4
Eyl.16	11943142.0	12088206.9	11805789.2

Gerçek verilerle elde edilen sonuçlar, kural tabanlı bulanık yaklaşım ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında ortalama

mutlak sapma oranı (MAPE) 0. 0236 çıkmaktadır. Bulanık tabanlı tahmin modelinin başarılı olduğu kabul edilebilir.

Geçekleşen değerler ve tahmin değerlerini karşılaştıran grafik Şekil 11’de gösterilmektedir.



Şekil 11: Gerçekleşen değerler ile tahmin değerlerinin karşılaştırması.

6 Sonuç

Rekabet şartlarının kızıştığı günümüzde, talep tahmin çalışmaları işletmelerin varlıklarını sürdürebilmesi için stratejik öneme sahiptir. Birçok bilinmeyen parametreyi içeren talep tahminlerinin gerçeği en iyi şekilde yansıtması için belirsizliğin etkilerini en aza indiren bulanık mantık araçlarının kullanımı yaygınlaşmıştır. Bulanık yaklaşımlar, klasik yöntemlerle modellemenin zor olduğu karmaşık yapılar için büyük kolaylık sağlamaktadır. Özellikle geçmiş verilere ulaşamadığında ve/veya değişen şartlar nedeniyle geçmiş verilerin mevcut durumu iyi ifade ettiğinden emin olunmadığı durumlarda bulanık mantık kullanımı ile daha gerçekçi tahmin değerleri elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada meyve suyu işletmesinin satış verilerinden yola çıkılıp bulanık ortamda kural tabanlı yöntemle talep tahmini yapılmıştır. Tahmin yapılırken farklı uzmanlardan görüş alınmıştır, görüş ayrılıkları birlikte incelenerek gelecek durumu ifade edebilecek bütün verilerden faydalanılmıştır.

Literatürde mevsimsellik faktörünü dahil ederek kural tabanlı bulanık yaklaşım ile hızlı tüketim sektöründe talep tahmin çalışmasına rastlanmamıştır. Bu anlamda çalışmanın hem uygulama alanı hem de uygulama yöntemi açısından literatüre katkı sağladığı söylenebilir. Ayrıca önerilen tahmin yöntemi zaman serileri ile karşılaştırılarak tutarlılık açısından sınanmıştır.

Tahmin yönteminin kesinliği elde edilen MAPE değeri ile anlaşılmaktadır. Düşük hata payı güçlü bir tahmin modelinin sunulduğu anlamına gelmektedir. Lewis [29] ve Witt [30]’e göre %10’a kadar tahmin hatasına sahip modeller “çok iyi” veya “yüksek doğruluk derecesine” sahip tahmin yöntemleri olarak ifade edilmektedir. Buna göre elde edilen %2 hata payı ile geliştirilen tahmin yönteminin güçlü olduğu söylenebilir.

Çalışmanın devamı olarak kullanılan model geçmiş verilerdeki dönemsel değişikliklerden elde edilen bilgileri de içerecek şekilde geliştirilebilir. Dönemsel bazlı gerçekleşen alışılmamış durumların göz ardı edilerek daha saf verilerle çalışılması, çalışmanın gerçeklikten sapma payını minimuma indirecektir. Ayrıca elde edilen bulgular yapay sinir ağları gibi yöntemlerle de kıyaslanabilir. Gelecek araştırmalar için yapay zeka yöntemleriyle entegre edilmiş bulanık mantık sisteminin daha güçlü ve açıklanabilir sonuçlar verebileceği öngörülmektedir.

7 Kaynaklar

- [1] Uçal-Sarı İ. Yatırım Analizinde Bulanık Model Önerileri. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [2] Zadeh LA. “Fuzzy sets”. *Information and Control*, 8(3), 338-353, 1965.
- [3] Abraham A, Nath B. “A neuro-fuzzy approach for modelling electricity demand in Victoria”. *Applied Soft Computing*, 1(2), 127-138, 2001.
- [4] Wang CH. “Predicting tourism demand using fuzzy time series and hybrid grey theory”. *Tourism Management*, 25(3), 367-374, 2004.
- [5] Lau HCW, Cheng ENM, Lee CKM, Ho GTS. “A fuzzy logic approach to forecast energy consumption change in a manufacturing system”. *Expert Systems with Applications*, 34(3), 1813-1824, 2008.
- [6] Efendigil T, Önüt S, Kahraman C. “A decision support system for demand forecasting with artificial neural networks and neuro-fuzzy models: A comparative analysis”. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 6697-6707, 2009.
- [7] Chang PC, Fan CY, Lin JJ, “Monthly electricity demand forecasting based on a weighted evolving fuzzy neural network approach”. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 33 (1), 17-27, 2011.
- [8] Karahan M. İstatistiksel Tahmin Yöntemleri: Yapay Sinir Ağları Metodu ile Talep Tahmini Uygulaması. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.2011.
- [9] Azadeh A, Ziaei B, Moghaddam M. “A hybrid fuzzy regression-fuzzy cognitive map algorithm for forecasting and optimization of housing market fluctuations”. *Expert Systems with Applications*, 39 (1), 298-315, 2012.
- [10] Zahedi G, Azizi S, Bahadori A, Elkamel A, Wan Alwi SR. “Electricity demand estimation using an adaptive neuro-fuzzy network: A case study from the Ontario province – Canada”. *Energy*, 49, 323-328, 2013.
- [11] Coşgun Ö, İkinci Y, Yanık S. “Fuzzy rule-based demand forecasting for dynamic pricing of a maritime company”. *Knowledge-Based Systems*, 70, 88-96, 2014.
- [12] Peng HW, Wu SF, Wei CC, Lee SJ. “Time series forecasting with a neuro-fuzzy modeling scheme”. *Applied Soft Computing*, 32, 481-493, 2015.
- [13] Efendi R, Ismail Z, Deris MM. “A new linguistic out-sample approach of fuzzy time series for daily forecasting of Malaysian electricity load demand”. *Applied Soft Computing*, 28, 422-430, 2015.
- [14] Azadeh A, Asadzadeh SM, Mirseraji GH, Saberi M. “An emotional learning-neuro-fuzzy inference approach for optimum training and forecasting of gas consumption estimation models with cognitive data”. *Technological Forecasting and Social Change*, 91, 47-63, 2015.
- [15] Osório GJ, Matias JCO, Catalão JPS. “Short-term wind power forecasting using adaptive neuro-fuzzy inference system combined with evolutionary particle swarm optimization, wavelet transform and mutual information”. *Renewable Energy*, 75, 301-307, 2015.
- [16] Cheng SH, Chen SM, Jian WS. “Fuzzy time series forecasting based on fuzzy logical relationships and similarity measures”. *Information Sciences*, 327, 272-287, 2016.
- [17] Bisht K, Kumar S. “Fuzzy time series forecasting method based on hesitant fuzzy sets”. *Expert Systems with Applications*, 64, 557-568, 2016.

- [18] Hassan S, Khosravi A, Jaafar J, Khanesar MA. "A systematic design of interval type-2 fuzzy logic system using extreme learning machine for electricity load demand forecasting". *International Journal of Electrical Power Energy Systems*, 82, 1-10, 2016.
- [19] Ye F, Zhang L, Zhang D, Fujita H, Gong Z. "A novel forecasting method based on multi-order fuzzy time series and technical analysis". *Information Sciences*, 367-368, 41-57, 2016.
- [20] Lou CW, Dong MC. "A novel random fuzzy neural networks for tackling uncertainties of electric load forecasting". *International Journal of Electrical Power Energy Systems*, 73, 34-44, 2015.
- [21] Bağırkan Ş. *İstatiksel Analiz*. İstanbul, Türkiye, Önsöz Basım ve Yayıncılık, 1982.
- [22] Tek ÖB. *Pazarlama İlkeleri Global Yönetimsel Yaklaşım Türkiye Uygulamaları*. İstanbul, Türkiye, Beta Yayın, 1999.
- [23] Tanyaş M, Baskak M. *Üretim Planlama ve Kontrol*. İstanbul, Türkiye, İrfan Yayıncılık, 2006.
- [24] Lancaster G, Massingham L. *Essentials of Marketing: Text and Cases*. 2nd ed., McGraw-Hill Companies, 1993.
- [25] Kosko B. *Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic*. Reprint edition. New York, USA, Hyperion, 1994.
- [26] Zimmermann HJ. *Fuzzy Set Theory and its Applications*. Dordrecht, Netherlands, Springer, 1991.
- [27] Ayçın E. Kural Tabanlı Bulanık Modelleme ve Fiyat Tahminleme Sürecinde Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2011.
- [28] Sivanandam SN, Sumathi S, Deepa SN. *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB*. Heidelberg, Berlin, Springer 2007.
- [29] Lewis CD. *Industrial and Business Forecasting Methods*. Londra, Butterworths Publishing, 1982.
- [30] Witt SF, Witt CA. *Modeling and Forecasting Demand in Tourism*. Londra, Academic Press, 1992.