

BULANIK ANALİTİK AĞ PROSESİ VE MATEMATİKSEL MODEL ENTEGRASYONU İLE HAMMADDELERİN RAFLARA ATANMASI: GIDA SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Şakire Nesli DEMİRCİOĞLU^{1*}, Eren ÖZCEYLAN²

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, İstanbul

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-4942-9089>

²Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Gaziantep

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5213-6335>

Anahtar Kelimeler	Öz
ABC Analizi, ÇKKV, Raf Atama Problemi, Matematiksel Model, Optimizasyon	<i>Bu çalışmanın ilgilendiği konu, hammaddelerin hangi raf alanına atanacağına karar verilmesi ve maksimum miktarda atanmasıdır. Bu karar verilirken, alanın sınırlı olduğu, tüm hammaddelerin kendi aralarında aynı önem seviyesine sahip olmadığı, farklı stok ve palet büyüklüğüne sahip olduğu düşünülmelidir. Mevcut çalışmalarda, raf boyutları ve paletler tek boyutlu veya standart ölçülerle hesaplanmaktadır. Ancak, gerçek hayatta raf ve palet boyutları genişlik, yükseklik ve derinlik açısından farklı ölçülere sahiptir. Bu çalışmadaki gerçek uygulamada, tüm durumların matematiksel modeli oluşturulmuştur. Çalışmada kurulan model, önem derecelerine göre optimum miktarların atandığını göstermektedir. Öncelikle ABC analizi kullanılarak A sınıfındaki hammaddeler belirlenmiştir. Çok kriterli karar verme yöntemi ile bu hammaddelerin önem katsayıları belirlenmiş ve doğrusal modelin amaç fonksiyonu oluşturulabilmesi için ana kriterler 4 farklı uzmanın hammaddeleri sınıflandırabileceği şekilde belirlenmiştir. Uzmanların sahip olduğu farklı görüşleri ve hammaddeler için belirlenen kriterler arasındaki ilişkileri göz ardı etmeden model oluşturmak için Bulanık Analitik Ağ Prosesi (Bulanık AAP) kullanılmıştır. Matematiksel modelin kısıt denklemleriyse blok raf sistemlerine ait hücrelerin değişen kapasiteleri ve hammaddelerin maksimum-minimum stok değerlerine göre oluşturulmuştur. Sonuç olarak, hangi rafta hangi hammaddenin ne kadar tutulacağına belirlenmesi ile depo görevlisi yönlendirilmiştir.</i>

ASSIGNING RAW MATERIALS TO SHELF WITH FUZZY ANALYTICAL NETWORK PROCESS AND MATHEMATICAL MODEL INTEGRATION: AN APPLICATION IN THE FOOD INDUSTRY

Keywords	Abstract
ABC Analysis, MCDM, Shelf Assignment Problem, Mathematical Model, Optimization	<i>The subject of this study is to decide to which shelf space the raw materials will be allocated and assign the maximum amount. One should consider that space is limited, all raw materials do not have the same level of importance among themselves, and have different stock and pallet sizes. In current studies, shelf dimensions and pallets are calculated with standard dimensions. However, shelf and pallet sizes have different measurements, so in this study, a model of all situations is created. Firstly, raw materials in Class A were determined using ABC Analysis. The importance coefficients of these raw materials were determined with the multi-criteria decision-making method and the main criteria were determined so that 4 different experts could classify the raw materials in order to create the objective function of the linear model. The Fuzzy Analytical Network Process was used to create the model without ignoring these different opinions and the relationships between the criteria determined for the raw materials. The constraint equations of the model were created according to the changing capacities of the cells of the block rack systems and the maximum-minimum stock values of the raw materials.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 25.03.2021	Submission Date : 25.03.2021
Kabul Tarihi : 22.07.2021	Accepted Date : 22.07.2021

*Sorumlu yazar; e-posta : sandenesli@gmail.com

1.Giriş

Sanayinin gelişim sürecine bakıldığında daha yüksek kaliteli ve daha düşük maliyetli üretim yapmanın amaçlandığı görülmektedir. İşletme fonksiyonlarının (tedarik, üretim, kalite kontrol vs.) süreçlerinde yürütülen iyileştirmeler, depolama ve stok miktarı konusunda yapılan çalışmalardır (Evensel, 2010). Depolama alanında kapasite ve hacmin dikkate alınarak yerleşim yapılması öngörülmektedir. Depolama konusunda karar verilmesi gereken ölçütler, depolama tipi (statik ve dinamik), depolama boyutu (kapasite veya zaman tabanlı) depolamada spesifik isteklerin sıralanması olarak açıklanmaktadır (Roodbergen ve Vis, 2009).

Bir otomotiv yan sanayi firmasının mamul depolamasında etkin alan kullanımının amaçlandığı Gül, Erol, Öngelen, Eser, Çetinkaya, Özmutlu, Özmutlu, Gökçedağlıoğlu, Erhuy (2016) çalışmalarında 3 adet tam sayılı matematiksel model geliştirmiştir. 21 sıra depolama rafının bulunduğu firmada sevk edilecek ürünler kasalar ile götürülmektedir, bu sebeple ilk matematiksel model iki boyutlu kasa tipi yerleştirme modelidir ve bu modelden çıkan sonuçlar ikinci modele yani koridorlarda minimum müşteri çeşitliliğini amaçlayan müşteri bazlı kasa-koridor yerleştirilmesi modeline veri sağlamaktadır. Bu iki modelin elde ettiği sonuçlar neticesinde mamullere kısa zamanda erişebilmek, işçilik ve taşıma maliyetlerini azaltabilmek amaçlanarak Yakınlık Esasına Dayalı Ürün Yerleştirme Modeli kurulmuştur. Ardışık modellerin çözümü için Sezgisel Algoritma geliştirilmiş ve yıllık taşıma ve depolama alanı maliyetlerinden yaklaşık olarak 75.000 Türk Lirası tasarruf edildiği hesaplanmıştır (Gül vd., 2016).

Stok yönetim sisteminde değişkenlerin belirlenmesi ve ardından gönderi boyutunun minimize edilmesi, depolama alanının kapasitesinin aşılmaması ve müşteri taleplerinin karşılanabilmesi amacıyla simüle edilmesi süreci üzerine çalışılmıştır (Bartoszewicz ve Latosinski, 2019). Belirtilen çalışmada değişkenlerin durumlarına göre kontrol sinyalleri belirlenmiş ve kurallar oluşturulmaya çalışılmıştır. Depo yönetim sisteminde 4 tedarikçi firmanın bir depoya ürün teslimi vaka olarak incelenmiştir; her bir tedarikçinin ürünleri teslim etmesi için geçen sürenin zaman aralıkları, depolama alanının en çok, en az kapasite sınırları, müşteri talep miktarları belirlenerek simülasyon çalıştırılmış ve sonuçların değişme sınırları grafikler ile gösterilmiştir.

Bir diğer çalışmada ise raf alan ataması problemlerini matematiksel model yardımıyla çözüme kavuşturma sürecinde çok fazla parametrenin işleme dahil olduğu, yüksek maliyetlerin olduğu ve hata oranının da yüksek sonuçlandığı Huang, Yao, Chang, Tsai ve Kuo (2019) tarafından ifade edilmiştir. Market raflarını kapsam noktasına alan bu çalışmada, market sepetine giren ürünlerin birlikte satın alma kurallarına yani birliktelik kuralları analizleri uygulanmıştır. İlgili çalışmada amaç, birliktelik satışlarını ve çapraz satışları artıracak şekilde ürünleri raflara atayabilmektir. Bilgi teknolojileri sayesinde oluşturulan Ürün İlişki Ağı ile ürünlerin birbirlerine göre önem sıraları, ilişkileri belirlenip 4 farklı müşteri tipi için 110 farklı ürün üzerinde simüle edilmiştir. Alan ataması için veri madenciliği ve ağ analizi kullanılmıştır (Huang vd., 2019).

İşletmeler, bir yandan nihai ürünlerinin fiyatı ve kalitesi ile piyasada rekabet içerisindeyken, bir yandan da uyguladıkları satış ve stok yönetimi ile ürünlerinin rafta bulunmama riskiyle karşı karşıya kalabilmektedir (Sever, 2006). Perakende sektöründe yer alan işletmelerin de tezgâhlarında fazla çeşitte ürüne yer vermeleri gerektiği önerilmektedir (Hübner ve Schaal, 2017). Fazla çeşitte ürüne yer vermeleri gerekiyor fakat sahip olunan alan büyüklüğü konusunda bir limit bulunmaktadır. Çalışılan konulara göre alan büyüklüğü raf, tezgâh, hücre vs. cinsinden belirtilebilmektedir. Çok seviyeli depolarda farklı türdeki ürünlerin depolandığı ve bu ürünlere ait taşıma maliyeti, aylık talepler gibi bilgilerin depolama faaliyetini etkilediği ve depolama alanlarının kısıtlı olabilme bilgisi de literatürde yer almaktadır (Zhang ve Lai, 2006). Yerleşim problemlerinde kısıtlı alanlara sahip olunması durumu göz önüne alınarak problemler çözümlenmektedir. Örnek olarak Perakende sektöründe yapılan bir çalışmada ürünlerin raflara yerleşimi için rafların uzunluklarının kısıt olarak alındığı görülmektedir (Yang, 1999).

Üretim ve depolama maliyetlerinin azaltılmasına amaç fonksiyonunda yer veren üretim alanından depolama alanına dengeli bir şekilde ürün taşınmasının, her alana yalnızca bir ürünün konulmasının, daha önce depolama alanına atanan ürünlerin tekrar yeni bir konuma atanmamasının, modelin kısıtlarından biri olarak üretim kapasitesinin yer almasının ve sezgisel yöntem ile çözümlenmesinin sağlandığı bir problem yaklaşımına literatürde rastlanmaktadır (Zhang, Nishi, Turner, Oga ve Li, 2017). Üretim alanından depo alanına

ürünlerin taşınması esnasında yeterli büyüklükte alanın bulunamaması probleminde çözüm olarak yetkilendirilmiş parti büyüklüğü ile depo yerleşim problemlerini birleştirilmiştir.

ABC Analizi ile sınıflandırma elde edildikten sonra stok sınıflandırması için skor değerlere sahip olunması gerekliliğini savunan ve Beğik, Hamurcu ve Eren (2017)'ye ait çalışma kapsamında ısı cihazları firmasında stok kontrol yöntemlerinden ABC analizi yöntemi 80 adet ısı cihazı için uygulanmış olup ardından çok kriterli olacak şekilde stok sınıflandırılması için Analitik Ağ Prosesi yöntemi tercih edilmiştir. Her ürün için satış fiyatları, talep miktarları çarpılarak ürünlerin yıllık satış tutarları belirlenerek ABC Analizi uygulanmıştır. 5 kriterin 13 alt kriterlere sahip olduğu bu çalışmada fiyat, talep, teslim süresi, kapladığı alan ve ürün cinsi kriter olarak belirlenmiştir. Tüm unsurların birbirleriyle etkileşimini gösteren ağ yapısı oluşturulmuştur. Etkileşimin de belirlenmesinin ardından stok sınıflandırma için kullanılacak AAP skor değerleri elde edilmiştir. Firma, stoklarını bulunan skor değerine göre sıralamıştır.

ABC Analizinin dahil edildiği bir başka çalışmada ise 47 adet envanter kalemini yıllık kullanım tutarları, ortalama birim fiyatları ve termin sürelerine göre ABC analizi ile sınıflandırılmıştır (Karagiannis, 2018). Karagiannis, 2018 çalışmasında ABC envanter sınıflandırmasına ek olarak Shannon entropisi, uzaklığa dayalı, ağırlıklı en küçük kareler farklılığı ve maksimum sapma yöntemleri olmak üzere dört bilgi teorisi tabanlı yöntem ile de sınıflandırma yapılmıştır. Ampirik sonuçlar, alternatif yöntemler A sınıfına ait envanter kalemlerinde genel bir fikir birliği olduğu, ancak aralarında nispeten daha belirgin olan küçük farklılıklar bulunduğu sonucuna varılmıştır (Karagiannis, 2018).

Zhang, Li, Guo ve Huang (2020) çalışmalarında geleneksel ABC Analizinde envanterlerin sınıflandırılmasında gerçek hayatta uygulama yapılan alanda görev yapan uzmanların görüşleri alındığı ve her zaman doğru kabul edildiği bildirilmektedir. Çok kriterli ABC Analizi ile yapılan sınıflandırmaların doğruluğuna çok az dikkat edildiğini vurgulayan Zhang vd. (2020) çalışmalarında yanlış sınıflandırma olasılığını bulabilmek için model oluşturmuşlardır. Modeldeki parametreleri tahmin ederek örnek verideki muhtemel yanlış sınıflandırma belirlenmeye çalışılmıştır.

Raflara ürün yerleştirilmesi esas olarak döner rafli depolama sisteminin bölme tasarımını inceleyen ve Liu, Tang, Ma ve Xie, (2020) ait çalışmada hiyerarşik ABC analizi ve rastgele depolama stratejisi ile yatay ve dikey olmak üzere iki farklı raf modelinde sınıflandırma yapılmış ve elde edilen sonuçlar ifade edilmiştir; (1) Malları sınıflandırmak için birden fazla gösterge kullanmak, daha derin alt bölümlere ve doğru yönetime ulaşmaya yardımcı olacaktır, (2) Döner raf, yüksek bir depolama yoğunluğuna sahiptir; bu sebeple döner raf kullanımı verimliliği artırabilmekte ve malların toplama işleminin beklenen süresi kısaltabilmektedir. Hiyerarşik ABC sınıflandırması ile malların bulunacağı bölgeler belirlenmeli ve ardından belirlenen bölgelere kendi içerisinde rastgele bir atama yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

Dursun ve Gürgen (2020) çalışmalarında bir konteyner terminalinde kullanılan 91 adet ekipmanın stok yönetiminde ABC Analizi ile sınıflandırmasını incelemişlerdir. Yoğun makine, ekipman kullanımına sahip olup aynı zamanda hizmet faaliyetleri yürüten işletmelerde yalnızca envanter değerine göre sınıflandırma yapmak stok yönetimini etkili ve verimli bir şekilde yapabilmek için yetersiz olacağı belirtilmiştir. Bu durumu açıklayabilmek için sınıflandırma işlemi hem klasik ABC analizi ile hem de çeşitli kriterler ekleyerek bulanık mantık yöntemi ile gerçekleştirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Yalnızca 2 adet ekipmanın sınıflandırmasında tutarsızlık gözlemlendiği ifade edilmiştir. Analiz detaylandırıldığı için sınıflandırmanın sürdürülebilirliği ve güvenilirliğinin sağlandığı açıklanmaktadır (Dursun ve Gürgen, 2020).

Bir oto yedek parça tedarik zincirinde dağıtıcının envanter kontrol sürecine odaklanan Mehdizadeh (2020) çalışmasına göre perakendecilerin stok siparişlerini distribütöre gönderirken satılan araç sayısı, kilometresi, minimum envanter miktarı ve yaşına dikkat edildiğini belirtmektedir. Perakendecilerden gelen taleplere parasal değerlerin eklenmesi ile distribütörde karşılık gelen bir sistem kurmak için ABC analizi ve kaba küme teorisi ile entegre yeni bir metodoloji önerilmiştir (Mehdizadeh, 2020). ABC analizi ile elde edilen grup referansları, gelecek planlama dönemi için baz stok seviyesini belirleyeceği belirtilip Kaba küme teorisi (Rough Set Theory-RST), geçmiş dönemlerde ABC analizi ile elde edilen belirsiz bilgilerden kalıplar ve kurallar çıkartılmıştı ve bu kurallar perakendecilerin gelecekteki taleplerini tahmin etmek ve ardından periyodik gözden geçirme

yaklaşımına göre sipariş vermeleri için yardımcı olacağı vurgulanmıştır.

Bir imalat firmasının maliyetlerinin büyük bir kısmını yerleşim düzeninin getirdiği bir sonuç olarak malzeme taşıma prosesi oluşturmaktadır hatta araştırmaya göre toplam operasyonel maliyetin %20 ile %50 aralığındaki payını malzeme taşıma maliyeti almaktadır (Agarwal, Singholi ve Bharti, 2017). Bu yüzden operasyonel maliyetlerin azaltılması için etkili bir tesis içi yerleşimine odaklanmak büyük önem taşımaktadır. Etkili bir tesis tasarımı ve yerleşimi yapıldığında toplam maliyetler %20-30 arasında azaltılabilmektedir (Agarwal vd., 2017). Malzeme taşıma maliyetini en aza indirip tesis yerleşiminin yeniden düzenlenmesi sistemde iyileştirmeler yapılmasını sağlayacak ve performansı artıracaktır (Yurdakul, Eşkin ve İç, 2009). Malzeme taşıma maliyeti ise departmanlar/atölyeler/makineler arası malzeme akışına ve bu birimlerin birbirlerine uzaklıklarını içermektedir (Ulutaş ve İsliler'den [2009] aktaran Turanoğlu ve Akkaya, 2017).

Lojistik faaliyetlerinde yönetimi iyileştirerek rekabet edebilir konumda olabilmek amacıyla Vukasović, Gligović, Terzić, Stević ve Macura (2021) çalışmalarında kurumun sahip olduğu 78 adet ürün 4 kriter başlığı altında (Kriterler; miktar, birim fiyat, yıllık satın alma maliyetleri ve talep) Bulanık Tam Tutarlılık Yöntemi (FUCOM-Fuzzy Full Consistency Method) ve Ortalama Çözümünden Uzaklığa Dayalı Bulanık Değerlendirme (Bulanık EDAS-Fuzzy Evaluation based on Distance from Average Solution) bulanık formda iki yeni entegre model ile sıralanmıştır. Bu sayede kriterlerin ağırlıkları elde edilmiştir. Elde edilen ağırlıklar, kriter-ürün değerlendirme matrisinde durulaştırma işlemi için çözüm adımları izlenilerek ulaşılan değerlendirme skorları ABC analizindeki sınır değerlerine uygun olacak şekilde ürünler A, B ve C sınıflarına dahil edilmişlerdir.

Tesis tasarımı ve yerleşimi kadar yönetimi de önem arz etmektedir. Bu çalışmanın konusu olan depolama alanlarında ise Stok yönetimi önem taşımaktadır. Stok yönetimi geliştirilirken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, çok ya da az stok bulundurulmasının engellenmesi ve dengenin sağlanmasıdır (Arabacı, Akdemir, Doğan ve Mengi, 2019). Çünkü çok fazla stok bulundurmak sermaye dönme hızını azalmasına, demode ürünlere sahip olunmasına; az stok bulundurmak ise müşteri kaybına sebep olarak gösterilebilmektedir. İşletmedeki karar vericilerin, hangi hammadde

çeşidinden ne kadar miktarda ve hangi rafta bulundurulması gerektiği bilgisine sahip olmaları gerekmektedir. Bu görüşü savunan ve Çolak, Keskin, Günel ve Akkaya (2016)'ya ait olan çalışmada bir kimya firmasının kimyasal hammadde deposunda ABC analizi ile hammaddelerin sınıflandırılması yapılmış, Analitik Hiyerarşi Prosesi ile de ağırlıklandırma tamamlanarak çalışmanın amacı olan en çok hareket eden hammaddelerin bulunması ve taşımaların en aza indirilmesi gerçekleştirilmiştir. 47 adet hammaddenin yerleşimi için 4 kriter belirlenmiş ve çalışmanın sonucunda yeni bir yerleşim düzeni, tam sayılı programlama alanında matematiksel model kurularak önerilmiştir.

Literatürdeki raf atama işlemlerini konu alan bir diğer çalışma ise Flamand, Ghoniem, Haouari ve Maddah (2018)'e aittir. Belirtilen çalışmada öncelikle ürün kategorileri ilişkilendirilmiştir, örneğin; çapraz satış hedeflenerek rakip ürünler birbirlerine yakın konumlandırılmıştır, zıt ilişki temel alınarak aynı kategoride olmayan ürünler ya da birbirlerine bağlı yani satın alımları birbirini tetikleyen ürünler birbirlerine yakın tutulmuştur. 800 ürün kategorisi ve 100 rafın yer aldığı sezgisel algoritmanın çözümü ile hem çözüm süresi iyileştirildiği hem de raf atamalarının karı maksimize edecek şekilde düzenlendiği açıklanmaktadır. Süpermarket sektöründe çok çeşitli ürünlere sahip olduğundan ürünlerin sınıflandırılması ve kısıtlı alan büyüklüğüne sahip olunmasından dolayı da en uygun rafa atanması durumu en önemli iki planlama problemidir.

Fan ve Wang (2018)'nin, üretimden istenecek parti büyüklüğü ve depolama alanının boyutunun, sabit sipariş maliyeti ve doğrusal elde bulundurma maliyetini içerecek şekilde oluşturdukları model ile belirlendiği çalışmada gerçek ihtiyaca göre depolama alanının kiralınması sağlanmıştır. Böylece ihtiyaç olandan daha fazla alan için kiralama maliyeti yapılmamış ve depolama alanı için toplam maliyet, %10'dan daha fazla oranda azaltılmıştır.

Bir gıda ambalajı firmasının yarı mamul deposunda, malzemelerin raflara nasıl atanması gerektiği konusu kullanılması gereken en etkin raf tipinin ve adedinin belirlenmesi ile çözülmesi önerilmiştir ve tam sayılı programlama tekniği kullanılmış ayrıca simüle edilmiştir (Yalçiner ve Can, 2019). Raflara yerleşim konusunda çalışarak raf atama problem yaklaşımını, hammaddeleri depodaki uygun raflara atama amacıyla kullanan literatürdeki

çalışmalardan farklı olarak sunulan Öztürk, Özer, Gülen, Çiçek ve Serttaş, (2019)' a ait olan çalışmada birden fazla deponun birden fazla fabrikanın ihtiyacını karşılaması durumu incelenmiş ve bu durumdayken hammadde paletlerinin raflara yerleşimi yapılmıştır. Belirtilen çalışmada kurulan matematiksel modelin iki amacı bulunmaktadır: Birinci amaç, hammaddelerin fabrikalara ulaşımı için mesafenin en küçüklenmesi, ikinci amaç ise, kullanılan raf sayısının en küçüklenmesidir. Çok amaçlı karma tam sayılı matematiksel model olarak kurulan model sezgisel algoritmalar yardımıyla çözülmüştür.

İşletmeler, ürün ve hammaddeleri için alanlar ayrılması ve bu alanların da yönetilmesi sorunu ile karşı karşıyadır (Zhang vd., 2017). İşletmenin, nihai ürünlerini oluşturmak için kullandığı hammaddelerin önem derecesi aynı olmamaktadır. Bazı hammaddeler, işletme için daha önemli iken bazı hammaddeler ise düşük öneme sahip olmaktadır. Hammaddelerin önem dereceleri, hammaddeler için gerekli alanın ayrılmasında göz önünde bulundurulduğu bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Uçakcıoğlu ve Eren (2017) çalışmalarındaki analiz ile ÇKKV yöntemlerinin yatırım projelerinin seçimi esnasında kaynakların boşa sarf edilmemesi amacıyla kullanılabilirdiği görülmektedir. Belirtilen çalışmadaki optimum yatırım projelerinin seçimi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve VIKOR yöntemleri kullanılmıştır. Havaçılık savunma sanayisinde 8 adet yatırım projesi değerlendirilmesinde 20 uzman ile birlikte belirlenen bütçe, personellerin sayısı, bağımlılık durumu (dışardan hizmet alma durumu), proje süre zarfı, ekonomiye katkı şeklindeki kriterler analize dâhil edilmiştir. AHS yöntemi ile kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıklarına ulaşılmıştır. Bu ağırlıklar VIKOR yönteminde sıralamanın yapılması için kullanılmıştır. AHS yönteminde elde edilen ağırlıklar ve VIKOR yönteminde bulunan sıralama değerleri farklı senaryolar altında hedef programlama ile matematiksel modelde kullanılmıştır. Gerçekleşecek senaryolara göre hangi alt projenin seçilebileceği önerisi sunulmaktadır (Uçakcıoğlu ve Eren, 2017).

Çok kriterli yöntemlerinden AHP kullanılarak nitel performans ölçütleri (esneklik, güvenlik, alan kullanımı) ağırlıklandırılmış ve en uygun yerleşim planının seçilebilmesi için AHP yönteminden elde edilen veriler ile nicel veriler, Veri Zarflama Analizi

(Data Envelopment Analysis) ile birleştirilen Arunyanart ve Pruekthaisong (2018)'e ait olan çalışmada işletmenin 7 departmanını içeren 9 farklı yerleşim alternatifi etki puanlamasına (efficiency score) göre sıralanmıştır, iki farklı yerleşim alternatifinin etki puanı diğerlerine göre daha yüksek çıkmıştır.

En önemli kritere göre ürünlerin yerleştirilmesi amacıyla optimum depo tasarımı, depolama sisteminin uygun seçimi ve kullanımı konusu e-ticaret işletmelerinin en üst düzey müşteri servisini en düşük maliyetle sunma hedefine ulaşabilmeleri için oldukça önemlidir (Indap, 2018). Indap (2018) çalışmasında e-ticaret işletmeleri için en uygun depolama raf sistemini seçebilmek hedeflenmiş olup bu hedef için 5 çeşit kriter ve 3 farklı raf sistemi alternatif olarak belirlenmiştir (Kriterler: Maliyet, Hacim ve Yükseklik Faydalanması, Yükleme Kolaylığı, Stok Devir Hızı), (Raf Sistemleri: Sırt Sırt Raf Sistemi, Dar Koridor Raf Sistemi, ODBS). Çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Süreci ile en önemli kriter yükleme kolaylığı, en uygun raf sistemi ise Sırt sırta raf sistemi çıkmıştır.

ÇKKV yöntemlerinin çözüm bulduğu seçim problemlerine verilebilecek bir örnek Palut ve Okçuoğlu (2019)'nun depo yerleşim tasarımında en uygun forklift alternatifinin TOPSIS yöntemi ile belirleyip ardından forkliftin ve depo alanının kapasitelerini matematiksel modele kısıt olarak atamışlardır.

Tedarik zincirindeki en önemli maliyet unsuru olan depolama yönetimi konusunda çalışan Micale, Fata ve Scalia (2019) çalışmalarında, Depolama Lokasyon Atama Problemi (SLAP) çok kriterli karara ve belirsiz çevreye sahip olmasından dolayı ELECTRE TRI ve TOPSIS metodları ile çözüme kavuşturulmuştur. Çalışma kapsamında giriş ve çıkış noktalarına en yakın ve az sayıda raf katına sahip olma amacıyla 5 farklı kriterin (ağırlık, alan, talep, karlılık ve müşteri sayısı) uzmanlar tarafından belirlenen ağırlıkları işleme olarak 60 ürünün 840 depolama alanına atanması gerçekleştirilmiştir (Micale, Fata ve Scalia, 2019).

Alternatifler arasından en iyi paketleme makinesi seçimi amacı ile çok kriterli karar verme tekniklerinden analitik hiyerarşi prosesi ve analitik ağ prosesi teknikleri değerlendirilmiş, kriterler arasında da ilişki olmasından hareketle Analitik Ağ Prosesi yönteminde karar kılınmış olan ve Tümtürk ve Tolun (2021)'e ait olan çalışmada problemin subjektif bilgi içermesinden dolayı alternatifler

arasından en iyi makinenin seçilmesinde Analitik Ağ Prosesinden gelen ağırlıklar kullanılarak, belirsizlikte iyi çalışan yöntemlerden biri olan Gri İlişkisel Analiz yöntemi kullanılarak karar verilmiştir (Tümtürk ve Tolun, 2021).

Akıllı ve sürdürülebilir bir şehir olmanın önceliklerinin ağırlıklandırılması çok kriterli bir karar verme (ÇKKV) sorunu olduğunu ve birbiriyle çelişen birçok kriter açısından değerlendirilmeyi gerektirdiği Özkaya ve Erdin (2020) çalışmalarında belirtilmektedir. Belirtilen çalışmanın önerdiği Analitik Ağ Süreci ile akıllı şehrin özelliklerini ve faktörlerini ağırlıklandırmak için farklı göstergeler arasında meydana gelen etkileşimler ve geri bildirimler ile uzmanların göstergeler hakkındaki görüşleri dikkate alınmıştır. ANP, değerlendirme kriterleri ve boyutları arasındaki önemli etkileşimleri dikkate alması sebebiyle tüm göstergeler için verilerin mevcut olduğu şehirleri sıralamak için güvenilir bir nicel yöntem olduğu açıklanmaktadır.

Karar vericilerin görüşleri önyargılı olabileceği için tek bir karar vericinin önyargısını önlemek amacıyla ANP yöntemi, bireysel görüşleri bir araya getirerek bir grup karar verme yaklaşımını barındırmaktadır (Moons, Waeyenbergh, Pintelon, Timmermans ve Ridder, 2019). Moons vd. (2019) çalışmalarında Performans göstergeleri arasındaki geri bildirim ilişkisinin öneminden dolayı performans ölçümü ile ilgili konuları ele alırken ANP metodolojisinin özellikle önemli olduğunu bildirmektedirler. Lojistik süreçlerinin genel performansı üzerine çalışan Moons vd. (2019) çalışmalarında ele aldıkları performans göstergeleri kümeleri eşit derecede öneme sahip olmadıklarını belirtmektedirler. Bu nedenle küme ağırlıklarını türeterek görece önemlerini belirlemek için ikili olarak ta karşılaştırmak için ANP yöntemi kullanmışlardır. Çünkü belirtilen çalışmada ANP'nin ağ elemanları arasındaki iç bağımlılıkları (yani bir kümenin öğeleri birbirine bağlıdır) veya dış bağımlılıkları (yani farklı seviyelerdeki kümeler arasındaki geri bildirimleri) dikkate alması ve lojistikle ilgili hedeflerin örneğin kalite ve maliyet gibi genellikle birbirine bağımlı olmaları sebebiyle ANP yöntemi tercih edilmiştir. ANP, tüm karşılıklı bağımlılıkları hesaba katarak karmaşık karar problemlerini basitleştirmeyi sağlamaktadır (Moons vd., 2019). Bir başka deyişle Performans Göstergelerinin (KPI'ların) seçilmesine ve tanımlanmasına izin veren küresel öncelik ağırlıklarını hesaplama işlemi de ANP'ye dayanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Analitik Ağ Prosesi tercih edilmiştir. Analitik Ağ Prosesinin seçilme nedeni, kriterlerin kendi aralarında doğrudan olmasa da dolaylı olacak şekilde ilişkide olmalarıdır. Bu durum şu şekilde örneklenebilmektedir; Tüketim Miktarı ile Bitmiş Üründe Bulunma Oranı kriterleri birbirleriyle orantılıdır. Tüketim miktarının artmış ya da azalmış olması tek sebep bu olmamasına rağmen Bitmiş Üründe Bulunma Oranı da artması ya da azalmasından kaynaklanabilmektedir. Benzer şekilde Teslimat Yeterliliğinin durumuna göre Muhafaza Koşullarının iyileştirilmesi çalışmalarının önem kazanacağı vurgulanmaktadır. Bu şekilde uzman görüşleri aracılığıyla tüm unsurların dolaylı olarak birbirleriyle etkileşimi mevcuttur. Tüm unsurların birbirleriyle etkileşimi söz konusu olduğundan Analitik Ağ Prosesi ile analize devam edilmiştir.

Jamali, Feylizadeh ve Liu (2021) çalışmalarında bakım stratejilerine öncelik vermenin ele alındığı çalışmada hem Bulanık AHP hem de Analitik AAP yöntemini uygulamışlardır. Kriterler ve alt kriterlerin içsel ilişkilerinin varlığı sebebiyle Bulanık AAP yaklaşımı ile elde edilen ağırlıkların gerçek koşullara daha yakın olarak elde edildiği açıklanmıştır.

Mistarihi, Okour ve Mumani, (2020) çalışmalarında müşteri ihtiyaçları ve mühendislik özelliklerine göre tekerlekli sandalye imalatında karar vericinin belirsizlikle ilişkili olan öznel yargılarından dolayı Bulanık ANP yaklaşımı kullandıklarını ifade etmişlerdir.

Konutlardaki optimum çatı tipini seçebilme konusuna eğilen çalışmada uzmanların kesin olmayan yargılarıyla başa çıkmak için Mahdiyar, Tabatabaee, Durdyev, Ismail, Abdullah, Mardiah ve Rani (2019) çalışmalarında ANP yöntemine bulanık mantık eklendiği açıklanmaktadır. Bu durumdaki kriterlerin ikili karşılaştırmalarında ilgili kriterlerin değerlendirme matrisindeki köşegenin altındaki ve üstündeki değerleri bulanık sayı ölçeğine göre alınmakta ve bulanıklaştırılmaktadır.

Kriterler arası etkileşimin olması sebebiyle firmada farklı departmanlarda görev alan birden fazla uzman ile görüşme sağlanmıştır. Uzmanlar, kendi alanlarına göre kriterlerin önem seviyelerini farklı bildirdikleri görüşmeler sonucunda elde edilmiştir. Bir kriterin bir alternatif ile ilişkisinde net bir durum ortaya konması şeklinde ifadeler olmadığından bu değerlendirme ölçütleri bulanıklaştırılmıştır.

Bu araştırmanın amacı, hammaddelerin depo alanındaki yerlerinin ve miktarlarının optimum şekilde belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda aşağıdaki sorulara yanıt aranmıştır:

- 1) İmalat sektöründe hizmet veren bir işletmenin hammadde depo yönetim süreçlerine nasıl katkı sağlanabilir?
- 2) Bir imalat işletmesinin depo olarak ayrılan bölümündeki fiziksel kısıtlamalar göz önüne alınarak diğer hammaddelere kıyasla işletme için daha önemli olan hammaddelere, depolama alanında daha fazla yer ayrılması mümkün müdür?
- 3) İşletmenin fiziksel limitlerinin haricinde hammaddeler kendilerine özgü spesifik kısıtlamalara sahip midir? Eğer sahiplerse, göz ardı edilmemesi için matematiksel gösterimi nasıl kurulacaktır?
- 4) Farklı uzman görüşlerinin hesaba katılması ile hammaddelerin önem dereceleri saptanarak hammaddelerin işletmeye olan faydaları bulunabilir mi?

2. Yöntem

Bu araştırma, bir işletmenin depolama alanında hammaddelerin yerleşim düzeninin sağlanmasını konu alan ve araştırma, yayın etiğine uyularak hazırlanan bir çalışmadır. İşletmenin hammadde deposundaki farklı hacimlere sahip raf alanlarına yerleştirilecek hammaddelerin ABC Analizi ile belirlenip raf atamalarının hangi kriterlere ne kadar önem verilerek yapılacağını araştırılması amaçlanmaktadır. İşletmedeki uzmanların farklı görüşleri mevcut olduğundan ve kriterlerin ikili ilişkilerinin de incelenmesi amaçlandığından Bulanık Analitik Ağ Prosesi (Bulanık AAP) ile katsayılar hesaplanmaktadır. Son aşamada matematiksel model oluşturulması ile hammaddelerin yerleştirilecekleri raf bilgileri ortaya konmaktadır.

2.1 Evren - Örneklem

Çalışma kapsamında A sınıfında yer alan hammaddelerin 40 adet hücreden oluşan raf alanına atanması göz önüne alınmaktadır. Hammaddeler, 2018 yılı tüketim listesine göre belirlenmiştir. Raf alanı hücreleri ise işletmenin sahip olduğu 4 ana depodan iki tanesini içermektedir. 121 çeşit

hammadde ABC Analizine tabii tutularak A sınıfına dahil olan hammaddelerin belirlenmektedir. Kalite Kontrol, Üretim, Depo ve Ar-Ge departmanlarında görev yapan 4 farklı uzmandan alınan görüş ile kriterler ve alternatiflerin ikili matrisleri oluşturularak katsayılar hesaplanmaktadır. Matematiksel model sayesinde raf alanlarına hammaddelerin atamaları yapılmaktadır. Çalışmada yasal/özel izin ve etik kurul onayları gerekli olmamaktadır.

2.2 Veri Toplama Araçları

İşletmede görev yapan 4 farklı uzman ile birebir görüşme yapılmıştır. Yapılan görüşmeler sayesinde çalışmada kullanılacak kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler, Tüketim miktarı, Bitmiş üründe bulunma oranı, Erişim durumu, Muhafaza koşulları, Analiz ve Teslimat yeterliliğidir. Tüketim miktarı kriteri, hammaddelerin yıllık tüketim miktarları göz önüne alınarak analizde yer almıştır. Erişim durumu kriterinde, firmanın hammaddeye ulaşmasının kolay bir süreç olup olmadığı irdelenmiştir. Bitmiş üründe bulunma sıklığı kriterinde, nihai ürünün bileşenleri içerisinde en yüksek kaleme ya da orana sahip olunan hammaddelerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Muhafaza koşulları kriteri için hammaddelerin istiflenme şartlarının olup olmaması esas alınmıştır. Kalite Kontrol departman yetkilileri bu 6 kriterden 2 tanesinin firma tarafından hammaddelere özel olarak konulmuş olan standartları sağlayıp sağlamadıklarını her siparişte kontrol etmek durumundadırlar. Bu 2 kriter, Analiz Süreci ve Teslimat Yeterliliğidir.

Bu çalışmada, alternatifler olarak adlandırılan girdiler, hammaddelerdir. Bulanık Analitik Ağ Prosesi'nde alternatifler ve kriterler vardır ve kriterlerin karşılıklı iç etkileşimlerini ve dış ilişkilerini inceleyebildiği için Bulanık AAP yöntemi tercih edilmektedir (Onut, Tuzkaya ve Torun, 2011). Karşılaştırma matrislerine başlamadan önce ikili karşılaştırma matrisleri ve değerlendirme için kullanılacak dilbilimsel değişkenler (1-Eşit, 3-Zayıf Önemli, 5-Güçlü Önemli, 7-Çok Önemli, 9-Mutlak Önemli ve 2, 4, 6, 8-Ara Değerler) hakkında 4 uzmana bilgi verilmiştir. Bilgilendirmenin ardından Microsoft Excel tablolama programında hazırlanmış olan ana kriterler matrisleri uzmanlarla paylaşılmıştır. Uzmanlardan dilbilimsel değişkenleri üçgensel bulanık sayılar olarak kullanmaları istenmemiştir, çünkü tek bir ikili kıyaslama için üç

farklı sayının yazılmasının istenmesi, uzmanların gereksiz yere çaba ve zaman harcamalarını ayrıca hata yapma olasılıklarını artıracakı düşünölmüştür.

3. Uygulama

Firmadaki hammaddelerin aynı öneme sahip olmadığı ABC analizi sonucunda tespit edilmiştir. Bu sebeple hammaddelerin, raf ataması için kurulacak matematiksel modelin amaç fonksiyonuna aynı katkıyı yapmayacakları öngörölmüştür. Hammaddelerin amaç fonksiyonuna katkısını belirlemek için ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu sayede önem derecesi yüksek olan hammaddelerden, stokta daha fazla miktarda bulundurulabilecektir.

Hammaddelerin ABC Analizi işleminde kümülatif tüketim değerinin % 70'i A, % 20'si B ve % 10'u C sınıfındaki ürönlere aittir (Chapman, 2006). Buna

göre yapılan analizde 121 çeşit hammaddenin 9 adedi A sınıfına aittir. 16 adedi B sınıfta tahsis edilip geri kalan miktar olan 96 adedi ise C sınıfındadır.

İşletmenin tükettiği 121 çeşit hammadde A sınıfına ait hammaddelerin belirlenmesi için ABC Analizi yapılmıştır. 2018 yılı yıllık kullanım miktarı ve birim fiyatları ile kümülatif tüketim değeri hesaplanmıştır. A önem derecesine, en yüksek önem derecesine, sahip olan hammaddeler matematiksel modelde yer almıştır. Elde edilen ağırlık vektörlerine göre 9 adet hammaddenin A sınıfında olduğu sonucu elde edilmiştir. 16 adedi B sınıfına aittir, C sınıfında ise 96 adet hammadde bulunmaktadır. Analiz sonucu, A sınıfına dahil olan hammaddelerin önem sıralaması şu şekildedir; C-acid, Coffee Instant, Kahve Kreması, Şeker, Maltodekstrin, Sodium Cyclamate, Capuccino Köpük Verici, Çay-Pekoe Tea, Aspartam'dır.

Tablo 1

ABC Analizi Uygulaması ve A sınıfı hammaddeler

Stok Adı	Depodan Çıkış Miktarı (kg)	Satın alma fiyatı (\$)	Yıllık Tüketim (\$)	Kümülatif Tüketim
Coffee Instant	579.480	5,85	3.390.866	3.390.866
Kahve Kreması	2.172.548	1,51	3.285.407	6.676.273
Şeker	4.509.885	0,51	2.321.174	8.997.446
C-acid	2.233.595	0,84	1.875.639	10.873.085
Maltodekstrin	1.870.682	0,66	1.230.222	12.103.307
Sodium Cyclamate	394.429	2,47	973.132	13.076.440
Capuccino Köpük Verici	534.299	1,82	972.002	14.048.442
Çay-Pekoe Tea	95.187	9,42	896.279	14.944.721
Aspartam	65.372	11,50	751.482	15.696.203
Coffee Instant	579.480	5,85	3.390.866	3.390.866

Çalışma kapsamında, görüşmelerden elde edilen karşılaştırma matrisleri ise Tablo 2'ye göre puanlama ölçeğine uyarlanmıştır. Uzmanlardan elde

edilen ikili karşılaştırma matrislerine örnek olarak Uzman-1'den alınan ve Tablo 3'te gösterilen veriler verilmiştir.

Tablo 2

Dilbilimsel ve Bulanık Değişkenler (Saaty'dan [1990] aktaran Yücenur (2017))

Dilbilimsel Değişkenler	Üçgensel Bulanık	
	Sayılar	Eşlenik
Eşit önemli (EÖ)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Zayıf derecede önemli (ZÖ)	(2/3, 1, 3/2)	(2/3, 1, 3/2)
Güçlü derecede önemli (GÖ)	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Çok önemli (ÇÖ)	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)
Mutlak önemli (MÖ)	(7/2, 4, 9/2)	(2/9, 1/4, 2/7)

Tablo 3

Uzman-1 tarafından doldurulan ana kriterler ikili karşılaştırma matrisi

	Tüketim Miktarı	Bitmiş Üründe Bulunma Oranı	Erişim Durumu	Muhafaza Koşulları	Analiz	Teslimat Yeterliliği
Tüketim Miktarı	(1,1,1)	(7/2,4,9/2)	(5/2,3,7/2)	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,3/2)	(7/2,4,9/2)
Bitmiş Üründe Bulunma Oranı	(2/9,1/4,2/7)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,3/2)	(2/3,1,3/2)	(5/2,3,7/2)
Erişim Durumu	(2/7,1/3,2/5)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,3/2)	(5/2,3,7/2)
Muhafaza Koşulları	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(7/2,4,9/2)	(3/2,2,5/2)
Analiz	(2/3,1,3/2)	(2/3,1,3/2)	(2/3,1,3/2)	(2/9,1/4,2/7)	(1,1,1)	(2/3,1,3/2)
Teslimat Yeterliliği	(2/9,1/4,2/7)	(2/7,1/3,2/5)	(2/7,1/3,2/5)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,3/2)	(1,1,1)

4 uzmandan elde edilen ikili karşılaştırma matrisleri, Dargi, Anjomshoae, Galankashi, Memari ve Tap (2014) çalışmasında yer verildiği gibi birleştirilmiş matrisle dönüştürülmüştür. AAP yönteminin uygulaması için SuperDecision programı tercih edilebilmektedir, ayrıca Excel dosyası üzerinde çalışabilmek ta mümkündür (Onut vd., 2011). Bu çalışma kapsamında Microsoft Excel Office programı üzerinde tablolar ve hesaplamalar yapılmıştır. Birleştirilmiş matrisle Tüketim Miktarı kriteri ile Bitmiş Üründe Bulunma Oranı kriterinin ikili karşılaştırması sonucu (1.5, 2.63, 4.5) üçgensel

bulanık sayıları elde edilmiştir. Üçgensel bulanık sayılardan l, m ve u değerlerinin sırası ile hesaplanması şu şekildedir;

$$l_{12} = \min\left(\frac{7}{2}, \frac{3}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}\right) = 1.5; \quad (1)$$

$$m_{12} = \sqrt[4]{\prod(4 * 2 * 2 * 3)} = 2.63; \quad (2)$$

$$u = \max\left(\frac{9}{2}, \frac{5}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}\right) = 4.5 \quad (3)$$

Tablo 4

İkili Karşılaştırma Matrislerini Birleştirilmiş Matrise Dönüştürme (Dargi vd., 2014)

Üçgensel Sayılar	Formülleri	Açıklamaları
l_{ij}	$\text{Min}(B_{ijk})$	Kötümser Bulanık Sayı
m_{ij}	$\sqrt[n]{\prod_{k=1}^n B_{ijk}}$	Olası Bulanık Sayı
u_{ij}	$\text{Max}(B_{ijk})$	İyimser Bulanık Sayı

Bulanık Sayı Değeri = $M_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$

Birleştirilmiş matrisi elde ettikten sonra Sentetik Genişleme Değerinin birinci ve ikinci çarpanını bulabilmek için hesaplamalar yapılmıştır. Bu değerleri hesaplamak için Chang ve Zhang'dan [1992] aktaran Yücenur (2017) çalışmasından faydalanılmıştır. Birinci çarpan olan $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ formülünü tüm kriterler için tek tek hesaplamak amacıyla birleştirilmiş matrisin satırlarında yer alan üçgensel bulanık sayılar kategorilerine göre toplanmıştır. (Tüketim Miktarı = (6.57, 12.26, 20.5), Bitmiş Ür. Bulunma Oranı = (4.73, 9.51, 15.67), Erişim Durumu = (4.42, 7.79, 13.57), Muhafaza Koşulları = (2.49, 4.01, 10.01), Analiz = (2.38, 4.45, 11.5), Teslimat Yeterliliği = (2.49, 5.68, 13.5)). Formüldeki ikinci çarpan değerini $([\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1})$ bulabilmek için adımlar incelenerek yapılması gerekenler sıralanmıştır;

- Kriterlerin sentetik genişleme değerlerindeki l, m ve u değerleri sırasıyla kendi kategorilerine göre toplanmıştır.
- Elde edilen değerler paydada yerini almıştır.
- l ve u değerleri sıralaması değiştirilmiştir.

Formülden de anlaşılacağı gibi ikinci çarpan ortak bir değerdir, çünkü her bir kriter için tek tek

bulunması durumu söz konusu değildir (İkinci Çarpan = (0.012, 0.023, 0.043)). Sentetik genişleme değeri hesaplamak için kriterlerin iki çarpanları sırasıyla yazılmıştır ve Denklem (4)- Denklem (9) arasında belirtilmiştir;

$$S_{\text{Tüketim Miktarı (tü)}} = (6.57, 12.26, 20.5) * (0.012, 0.023, 0.043) = (0.079, 0.282, 0.882) \quad (4)$$

$$S_{\text{Bitmiş Ür. Bulun.Oranı (b)}} = (4.73, 9.51, 15.67) * (0.012, 0.023, 0.043) = (0.057, 0.219, 0.674) \quad (5)$$

$$S_{\text{Erişim Durumu (e)}} = (4.42, 7.79, 13.57) * (0.012, 0.023, 0.043) = (0.053, 0.179, 0.584) \quad (6)$$

$$S_{\text{Muhafaza Koşulları (m)}} = (2.49, 4.01, 10.01) * (0.012, 0.023, 0.043) = (0.030, 0.092, 0.430) \quad (7)$$

$$S_{\text{Analiz (a)}} = (2.38, 4.45, 11.5) * (0.012, 0.023, 0.043) = (0.030, 0.102, 0.495) \quad (8)$$

$$S_{\text{Teslimat Yeterliliği (te)}} = (2.49, 5.68, 13.5) * (0.012, 0.023, 0.043) = (0.030, 0.131, 0.581) \quad (9)$$

Bulanık sentetik genişleme değerlerine göre kriterler ikili olarak kıyaslanarak hangisinin tercih edileceği belirlenmiştir. Bu hesaplama için Chang Yöntemi (1992) kullanılmıştır. Hesaplamanın kolayca okuyucuyu aktarılabilmesi için tablo üzerinde açıklanmıştır.

Tablo 5
Tüketim Miktarı (tü) Kriteri için Sentetik Genişleme Değeri Karşılaştırmaları

Sentetik Genişleme Değerleri	Eğer $m_2 \geq m_1$ ise, 1	Eğer $l_1 \geq u_2$ ise, 0	<i>Aksi halde,</i> $(l_1 - u_2) / [(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)]$
$S_{tü} > S_b$	$0,282 \geq 0,219$ olduğu için faktör değeri 1'dir.	-	-
$S_{tü} > S_e$	$0,282 \geq 0,179$ olduğu için faktör değeri 1'dir.	-	-
$S_{tü} > S_m$	$0,282 \geq 0,092$ olduğu için faktör değeri 1'dir.	-	-
$S_{tü} > S_a$	$0,282 \geq 0,192$ olduğu için faktör değeri 1'dir.	-	-
$S_{tü} > S_{te}$	$0,282 \geq 0,131$ değeri 1'dir.	-	-

Özetle, hem iç bağımlılık hem de dış bağımlılık değerlendirmesinde ortaya çıkarılan ağırlık vektörlerinin çarpımı hesaplanarak Supermatris elde edilmiş olup matematiksel modelin amaç fonksiyonunda katsayı olarak yerlerini almışlardır. Tablo 7'den elde edilen sonuç ile alternatiflerin sıralaması şu şekildedir; C-Acid, Coffee Instant, Maltodekstrin, Kahve Kreması, Şeker, Sodium Cyclamate, Capuccino Köpük Verici, Çay-Pekoe Tea, Aspartam. Amaç fonksiyonunda yer alacak katsayılar da Tablo 7'nin Sonuç isimli sütununda görülmektedir.

Bulanık sayılara göre düzenlemenin ardından 4 uzman aracılığıyla elde edilen ana kriterler karşılaştırma matrisleri birleştirilip tutarlılık hesaplamalarının yapılması gerekmektedir. Saaty (2003), karşılaştırma matrislerinin tutarlılığını hesaplamak için $CR = \text{Tutarlılık Göstergesi} /$

Rassallık Göstergesi formülünü kullanmıştır (Saaty ve Özdemir'den [2003] aktaran, Ömürbek ve Şimşek, 2014). Aynı çalışmada bu formül şu şekilde açıklanmaktadır;

$$\text{Tutarlılık Göstergesi (CI)} = (\sigma_{\text{mak}} - n) / (n-1)$$

Denklem (10) ile belirtilen formüldeki σ_{mak} ifadesi ise şu şekilde hesaplanmaktadır (Özdemir ve Demirer, 2015);

$$\sigma_{\text{mak}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\text{Ağırlık Toplam Vektörünün i. elemanı}}{\text{Öncelik Değerleri Vektörlerinin i. elemanı}} \quad (10)$$

Rassallık Göstergesi için n sayısına göre oluşturulmuş tablo değerleri söz konusudur. n=9'a karşılık gelen değer 1,45'dir (Ömürbek ve Şimşek, 2014). Şekil 1'de Tüketim Kriteri için Ağırlık Vektörü ve Tutarlılık Oranı hesabından görüleceği gibi tüm tutarlılık değerleri 0,10'dan küçüktür.

	Scof	Skah	Sş	Scaci	Sm	Ss	Scap	Sçay	Sasp	Minimum Satır Değeri	Ağırlık Vektör Değeri (Min Satır Değeri/Toplam)	σ mak	Tutarlılık Göstergesi (CI)	CR =CI/RI
Scof		1	1	0,855436	0,993087	1,013695	1	1	1	0,85544	0,12062	0,10939	-1,11133	-0,7664
Skah	0,998572		1,020824	0,827058	0,990038	1,015463	1	1	1	0,82706	0,11662	0,10606	-1,11174	-0,7667
Sş	0,979174	1		0,820022	0,971073	0,994761	1	1	1	0,82002	0,11562	0,95689	-1,00539	-0,6934
Scaci	1	1	1		1	1	1	1	1	1,00000	0,14100	1,12802	-0,98400	-0,6786
Sm	1	1	1	0,850854		1,022523	1	1	1	0,85085	0,11997	0,97816	-1,00273	-0,6915
Ss	1	1	1	0,795207	1		1	1	1	0,79521	0,11213	0,92588	-1,00926	-0,6960
Scap	0,761106	0,754281	0,798398	0,571011	0,744191	0,784947		0,956267	0,964749	0,57101	0,08051	0,83279	-1,02090	-0,7041
Sçay	0,830917	0,827511	0,862221	0,646934	0,817375	0,85203	1		1,00701	0,64693	0,09122	0,86727	-1,01659	-0,7011
Sasp	0,875122	0,87373	0,897475	0,725582	0,865757	0,890649	1	1		0,72558	0,10231	0,92666	-1,00917	-0,6960
	TOPLAM									7,09210				

Şekil 1. Tüketim Kriteri için Ağırlık Vektörü ve Tutarlılık Oranı

Tüketim Miktarı için Hammaddeler Değerlendirilmesi																																																				
	COFFEE INSTANT				KAHVE KREMASI				ŞEKER				C-ACID				MALTODEKSTRİN				SODIUM				CAPUCCINO KÖPÜK				ÇAY - PEKME TEA				ASPARTAM				BULANIK VERİCİ				SİLİCON DİOKSİT				GOLD COFFEE				ACE-K			
COFFEE INSTANT	1	1	1	1	1/2	3/7	1/2	2/7	1/3	1/3	4/2	2/3	1/2	1/2	3/2	1	1/2	2/3	1/2	3/2	1	1/2	2/3	1/2	1/2	2/3	1/2	3/2	1	1/2	2/3	1/2	1/2	2/3	1/2	3/2	1	1/2	2/3	1/2	1/2	2/3	1/2	3/2	1	1/2	2/3	1/2				
KAHVE KREMASI	2/3	1/2	2/2	1	1	1	1	1	2/3	1/3	2/2	2/3	1/2	1/2	3/2	1	1/2	2/3	1/2	3/2	1	1/2	2/3	1/2	1/2	2/3	1/2	3/2	1	1/2	2/3	1/2	1/2	2/3	1/2	3/2	1	1/2	2/3	1/2	1/2	2/3	1/2	3/2								
ŞEKER	2/9	5/6	3/2	2/5	5/6	1/2	1	1	1	2/3	2/5	4/2	2/9	1/5	2/2	2/5	5/6	1/2	2/5	2/2	2/5	2/2	3/2	2/3	1/2	2/3	1/2	3/2	2/9	5/7	1/2	2/9	5/7	1/2	2/9	5/7	1/2	2/9	5/7	1/2												
C-ACID	2/7	1/2	1/2	2/7	3/2	1/2	2/9	4/9	1/2	1	1	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3												
MALTODEKSTRİN	2/3	1	1/2	2/7	3/4	1/2	2/9	5/6	4/2	2/9	1/2	1/2	1	1	1	1	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3												
SODIUM CYC	2/7	1/2	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3												
CAPUCCINO KÖPÜK	2/9	3/5	1/2	2/5	1/2	2/5	3/7	4/9	1/2	2/5	3/8	1/2	2/9	1/3	2/5	3/7	3/8	2/3	1	1	1	1	2/3	1/2	2/9	5/7	1/2	2/9	5/7	1/2	2/9	5/7	1/2	2/9	5/7	1/2																
ÇAY - PEKME TEA	2/9	3/7	2/3	2/3	1	1/2	2/3	3/3	1/2	2/7	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	3/7	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3																
ASPARTAM	2/9	5/6	1/2	2/7	5/6	1/2	2/7	1	4/2	2/7	1/2	2/2	2/7	4/9	2/3	2/7	4/9	1/2	2/3	2/2	2/3	1/2	2/3	1/2	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3																
BULANIK VERİCİ	2/3	1	1/2	2/5	5/6	1/2	2/9	1/3	1/2	2/3	1	1/2	2/7	5/2	1/2	2/7	2/5	2/3	2/7	4/7	1/2	2/3	1	1/2	2/9	3/5	1/2	2/9	3/5	1/2	2/9	3/5	1/2	2/9	3/5	1/2																
SİLİCON DİOKSİT	2/9	5/7	1/2	2/5	5/6	1/2	2/9	1/4	2/5	2/3	1	1/2	2/9	5/7	1/2	2/5	5/6	1/2	2/5	1/2	2/5	2/7	4/9	1/2	2/9	3/7	2/3	2/7	3/8	2/3	1	1	1	2/3	2	4/2	2/9	1/5	2/3	1/2												
GOLD COFFEE	2/7	1/2	1/2	2/3	1	1/2	2/3	1	1/2	2/7	2/3	2/3	2/5	5/6	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1	1/2	2/3	1/2	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3	1/2	2/3																
ACE-K	2/7	2/3	1/2	2/5	3/5	1/2	2/3	1/2	1/2	2/7	2/3	2/2	2/7	4/9	2/3	2/9	1/3	1/2	2/7	1	4/2	2/7	1/2	2/2	2/7	4/9	1/2	2/7	4/9	1/2	2/7	4/9	1/2	2/7	4/9	1/2																

Şekil 2. Tüketim Miktarı Kriteri-Alternatiflerin Yer Aldığı Birleştirilmiş Matris

Tablo 6

Süpermatrisi Oluşturan Kriterlere ait Sıralama

Kriterler	Ağırlık Vektörleri
Tüketim Miktarı	0,27
Bitmiş Üründe Bulunma Oranı	0,24
Erişim Durumu	0,16
Muhafaza Koşulları	0,08
Analiz	0,11
Teslimat Yeterliliği	0,14

Tablo 7
Süpermatrisi Oluşturan Alternatiflere ait Sıralama

Alternatifler	1.Kriter	2.Kriter	3.Kriter	4.Kriter	5.Kriter	6.Kriter	Sonuç
Coffee Instant	0,1206	0,1270	0,1258	0,1221	0,1224	0,1307	0,12470
Kahve Kreması	0,1166	0,1212	0,1187	0,1221	0,1224	0,1356	0,12179
Şeker	0,1156	0,1270	0,1238	0,1148	0,1224	0,1208	0,12105
C-Acid	0,1410	0,1172	0,1291	0,1183	0,1158	0,1195	0,12578
Maltodekstrin	0,1200	0,1133	0,1220	0,1212	0,1224	0,1191	0,11895
Sodium Cyclamate	0,1121	0,1068	0,1080	0,1077	0,1057	0,1020	0,10769
Capuccino Köpük Verici	0,0805	0,1088	0,0998	0,1045	0,1065	0,0888	0,09631
Çay-Pekoe Tea	0,0912	0,0900	0,0889	0,0959	0,0920	0,0977	0,09194
Aspartam	0,1023	0,0888	0,0841	0,0933	0,0903	0,0859	0,09180

Çalışmadaki matematiksel model, bir amaç fonksiyonu ve iki önemli kısıttan oluşmaktadır. Amaç fonksiyonu denklemi (11) hammaddelerin buldukları konuma göre elde edilebilecek faydanın maksimizasyonunu amaçlamaktadır. Kısıtları ise depolama alanlarındaki çalışmaya dâhil edilen rafların hacimsel ağırlıkları ve hammaddelerin maksimum ve minimum stok miktarlarından oluşmaktadır.

Modelin kurulması aşamasında önemli bir limit bulunmaktadır: işletmenin sahip olduğu tüm hammaddelerin tüm raf hücrelerine atanmasını ele alınmamıştır. Matematiksel model, LINDO 6.1 Programına yazılmış ve çözüm elde edilmiştir. Programın satır limitinden dolayı raf hücrelerinin sayısında kısıtlanmaya gidilmiştir. Çözümde elde edilen değer ise kilogram cinsinden ağırlıktır. Modeldeki karar değişkenleri X_{ij} = i. ürünün j. rafa

atanması ve miktarı $i = 1, 2, 3, \dots, 9$ $j = 1, 2, 3, \dots, 20$ gösterilmiştir. P_i ile gösterilen katsayı ise hammaddelerin Bulanık AAP ile elde edilen ağırlık vektörleridir.

Raf alanı atama problemlerinin amaç fonksiyonu, birçok kriter temel alınarak oluşturulabilmektedir, bu kriterler, maliyet, satışlardan elde edilen kar, verimlilik ya da sağlanan fayda şeklinde açıklanmaktadır (Özyörük ve Ak, 2012). Bu çalışma kapsamında hammaddelerin önem derecelerine göre hesaplanan ağırlık vektörleri hammaddelerin yer alabilecekleri raf hücrelerindeki konumlarının ve miktarlarının gösterildiği değişkenlerin katsayıları olup sağlanan faydanın maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Modeldeki karar değişkenleri ve parametreler Tablo 8'de açıklanmıştır.

Tablo 8
Modeldeki Değişken ve Parametrelerin Açıklamaları

Karar Değişkeni ve Parametreler (sırasıyla)	Açıklamalar
X_{ij}	i.hammaddenin j.raf hücrelerine atanacağı miktar (kg)
P_i	Bulanık AAP yöntemi ile elde edilen ağırlık vektörleri (hammaddelerin konumlarından dolayı sağladıkları fayda)
l_i	Hammaddelerin paletlerinin genişlik değerleri (m)
w_i	Hammaddelerin paletlerinin derinlik değerleri (m)
h_i	Hammaddelerin paletlerinin yükseklik değerleri (m)
p	Raf hücrelerine konabilecek palet sayıları (adet)
W_p	Bir paletin alabileceği maksimum ağırlık (kg)
V_j	Raf hücrelerinin hacim değerleri (m ³)
L_i	Hammaddenin minimum stok değeri (kg)
U_i	Hammaddenin maksimum stok değeri (kg)

Modelin kısıt fonksiyonları ise şu şekildedir; Depolama alanındaki bazı konumların yükseklik farklarından dolayı hacim hesaplanmış ve bu hacim rafların her bir hücrelerinin alabileceği maksimum palet sayısı ve paletlerin her birinin ortalama ağırlığı ile çarpılıp hacimsel ağırlık Denklem (2) ile hesaplanmaya çalışılmıştır. Bir diğer kısıt fonksiyonu ise hammaddelerin min-max. stok durumlarıdır. Denklem (2) olarak ifade edilen kısıtın sağ tarafı yani mevcut kaynak miktarı her bir rafın hacim*ağırlık kapasitesi olarak belirlenmiştir.

$$\text{Max } z = \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j P_i * X_{ij} \quad (11)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^i l_i * w_i * \sum_{j=1}^j X_{ij} \leq p * W_p * V_j \quad (12)$$

$$L_i \leq \sum_{j=1}^j X_{ij} \leq U_i \quad (13)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (14)$$

Denklem (12)'ün sağ tarafı raf hücrelerinin her birinin hacmi (m³) ile o hücrenin alabileceği maksimum palet sayısı ve paletlerin ağırlık kapasiteleri ile çarpılmaktadır. Aynı kısıt denkleminin sol tarafı ise her bir hammaddenin konulduğu palet özelliklerine göre paletlerin en, boy ve yükseklik (m³) hesaplanmış olup karar değişkenleri ile çarpılarak eşitlik kurulmaya çalışılmıştır. Denklem (13) ile min. ve max. stok durumlarını belirtmektedir. Denklem (14) ise karar değişkenlerinin pozitif bir sayı olması gerektiğini yansıtmaktadır.

Her iki depolama alanı için de matematiksel model kurulmuştur. 9 adet hammaddenin 40 adet raf hücrelerine atanma işlemi N ve M-1 kodlu hammadde raf blokları için oluşturulmuştur. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

4. Sonuçlar

Gıda üreticisi bir işletmenin hammadde depolama alanlarının düzeni için oluşturulan matematiksel model, LINDO 6.1 programının Fujitsu 2.20 GHz i5-5200U işlemci ve 8 GB RAM özelliğine sahip bir bilgisayarda çalıştırılmasıyla çözülmüştür. Çözüm süreleri her iki model için de 1 saniyenin altındadır. Programın satır sayısındaki kısıtlama nedeniyle M-1 kodlu depolama alanının ilk 20 rafına hammadde ataması yapılmıştır. Diğer raflara yapılması gereken atamalar için model tekrar kurulabilmektedir. N kodlu raf sisteminin ise tüm hücrelerine hammadde ataması gerçekleştirilebilmiştir. Tablo 9 ve Tablo 10'da atama sonuçları yer almaktadır. Atama sonuçlarını gösteren tabloların hücrelerinde, hammaddelerin Bulanık AAP ile bulunan öncelik sıralamalarına ait değerleri gösterilmiştir.

M-1 kodlu blok raf sistemine ait kurulan matematiksel modelin amaç fonksiyonu değeri 253.487,4 ve N kodlu blok raf sistemine ait kurulan matematiksel modelin amaç fonksiyonu değeri 122.724,7'dir. Bu değerler, hammaddelerin atandıkları hücrelerde bulunmaları durumunun sağladığı faydayı göstermektedir.

Tablo 9
M-1 Kodlu Raf Sistemine Yapılan Hammadde Atamaları

Hücre	Hücre	Hücre	Hücre	Hücre	Hücre
			4	2 ve 5	2, 4 ve 7
	3 ve 6	7	3	3	3
	4	4	4	4	4
1 ve 9	5 ve 8	4	1	5	1 ve 5

Tablo 10
N Kodlu Raf Sistemine Yapılan Hammadde Atamaları

Hücre	Hücre	Hücre	Hücre	Hücre	Hücre
		4 ve 9	1	3	6
	6	5 ve 7	3	3	3 ve 5
	3	4	4	4	4
1	1 ve 2	3	4	1, 5 ve 6	1

Tablo 9'da yer alan sonuca göre M012 numaralı hücreye 4. ürünün (Şeker) atanması şeklinde yorumlanmaktadır. Miktar olarak ise 109.111 kg atanması sonuç olarak elde edilmiştir. Modeldeki kısıtlar ile elde edilen sonuçların doğruluğunu görebilmek amacıyla sağlamanın yapılabilmesi mümkündür. Yine aynı hücre için örneklenecek olursa 4. Ürünün yani Şekerin kısıttaki katsayısı olan 1,215 değeri ile modelin çözümüyle elde edilen ağırlık değerinin çarpılması sonucu 132.569,87 birim sonucu elde edilip firma ile birlikte belirlenen maksimum birime ulaşılmıştır. M-1 kodlu raf sistemlerindeki iki hücreye üç çeşit hammadde atanmış olup üç hücreye ise hiç atama işlemi yapılmamıştır. Bu durumu çözebilmek için üç çeşit hammadde atanan hücrelerde yer alan hammaddelerden Bulanık AAP yöntemi ile elde edilen ağırlık vektörlerinin büyüklüğüne göre diğerlerine oranla daha düşük bir değere sahip olan hammadde daha üst rafa, daha büyük ağırlık vektör değerine sahip olan hammaddelerin alt rafa konmalarına özen gösterilmiştir.

5. Tartışma

Bulanık Analitik Ağ Prosesi sayesinde kriterler arasındaki ilişkiler de incelenmiş ve hesaplama dâhil edilmiştir. Bunun sonucu olarak kriterlerin birbirini etkileme durumları ve bu etkileme durumlarının da alternatiflere yani hammaddelere etkisi de incelenmiş oldu. Bu sayede tarafsız değerlendirme yürütülebilmektedir.

Bulanık AAP'nin içeriğindeki belirsizliklerin 4 adet uzmandan alınan görüşler ile öngörülebilir hale gelmesi amaçlanmıştır. Çünkü tek bir uzmandan alınan görüş, o uzmanın alternatifleri ve kriterleri kendi uzmanlık alanına göre değerlendirdiği gözlenmiştir. Bu sebeple farklı uzmanlık alanlarına sahip firma yetkililerinden görüşler alınarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Daha fazla sayıda uzman görüşü alınarak yürütülebilecek bir çalışma daha genel sonuçlar alınmasına destek verecektir.

Herhangi bir işletmede analiz çalışmaları yapabilmek için iyi bir zaman planlaması yapılması gerekmektedir, aksi halde uzmanlardan görüş alabilme işlemi kendilerinin müsait bir zamanına denk gelmediğinde, sonuçları genelleme yaparak araştırmacıları yönlendirmeleri veyahut hiç vakit ayıramamaları söz konusu olmaktadır. Fabrika müdürünün ya da firma yetkililerinin yapılacak çalışmaya ve sonucuna inanması gerekmektedir. Bu çalışmada firmanın hâlihazırda yürütmekte olduğu bir belgelendirme sürecinden dolayı firma yetkilileri matematiksel modelin neyi amaçladığını ve sonuçlarının yerleşim düzeni açısından ne gibi faydalar sağlayacağı konusunda oluşan ilgileri sayesinde bu çalışmaya destek vermişlerdir.

Yerleşim düzeni ile ilgili çalışmalarda tam sayılı programlama yöntemi kullanıldığı görülmüştür. Fakat bu yöntem ile sadece ürün/hammaddelerin hangi rafa atanacağı bilgi edinilmektedir. Miktar bilgisi için ise analiz devam ettirilmektedir. Bu

çalışmada ise ihtiyaç duyulan bu iki bilgiye tek bir model ile ulaşılmıştır.

Matematiksel model bir amaç fonksiyonu ve iki kısıt denkleminde oluşmaktadır. Amaç fonksiyonu, maksimum değerin elde edilmesi üzerine kurulmuştur. Birçok çalışmada rastlanıldığı gibi yerleşim tasarımlarında maliyeti minimize ya da kazancı maksimize etmek şeklinde düzenlenmesi de mümkündür. Fakat bu çalışmanın yapıldığı işletmede, maliyeti minimize etmek ya da karı maksimize etmek gibi bir amaçları bulunmamaktaydı. Esas amaçları, önemli görülen hammaddelerin raflara maksimum miktarda atanmasıdır. Bu sebeple hammaddelerin Bulanık AAP sonucu elde edilen önem dereceleri katsayılar olarak kullanılmış ve atamalarla elde edilen faydanın maksimize edilmesi amaçlanmıştır.

Modele yalnızca A sınıfındaki 9 adet hammadde dâhil edilmiştir. Bulanık AAP'nin bir program aracılığıyla çözülmesi söz konusu olduğunda daha fazla çeşitte hammadde ele alınabilir. Fakat bu çalışmada hedeflenen öncelik, depo yetkilisinin hammadde yerleşimi konusunda herhangi bir karara sahip olmadığından kendisine bir yol önerilmesidir. Ve bu önerilen yol sayesinde diğer hammaddeleri de bu çalışma ile kurulan model içerisine yazarak sonuç elde etmesi sağlanmıştır. Modelin kapsamı büyüdüğünde doğrusal programlama ile çözülmesi zorlaşacağından sezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

Bu çalışma sayesinde işletmenin raf düzeni sağlanarak literatüre şu katkılar sunulmuştur;

- Hammaddelerin önem sıralamaları, yalnızca ABC Analizi ile kullanılarak hesaplanmamıştır, aynı zamanda Bulanık Analitik Ağ Yöntemi ile de desteklenmiştir.
- Hammaddelerin önem sıralamalarına ulaşabilmek için dört farklı uzmandan altı farklı kriter bazında görüş alınmış ve bu görüşler Bulanık Ağ Yöntemi ile birleştirilerek tek bir sonuç elde edilmiştir.
- Rafların değişkenlik gösteren hacimlere sahip olmasından dolayı her bir raf hücresinin hacim değeri kısıt olarak hesaplamalara katılmıştır.

- Tüm hammaddelerin konuldukları paletlerin ölçüleri birbirleriyle aynı ölçülere sahip olmadığından her bir hammaddenin palet ölçüleri değeri kısıt olarak hesaplamalara katılmıştır.

Modellerin çözümleri Duyarlılık Analizine tabi tutulmuştur. Duyarlılık Analizinin yapılmasının başlıca sebebi firma uzmanlarının hammaddelerin stok sınırlandırmalarının değişebileceğini öngörmeleridir. Talep miktarında olabilecek değişiklikler ile maksimum ve minimum stok miktarlarında değişimlerinin yaşanacağı tahmin edilmektedir. Bu sebeple, Duyarlılık Analizinde yer alan kısıtların sağ tarafı için belirlenen azami azalış ve artış miktarları firma uzmanlarına bildirilmiştir. Örneğin, M-1 kodlu raf sisteminin matematiksel model çözümünde 12 . Kısıt denkleminin $(1.932x_{112} + 2.219x_{212} + 1.920x_{312} + 1.215x_{412} + 2.280x_{512} + 1.740x_{612} + 2.280x_{712} + 1.815x_{812} + 1.265x_{912} \leq 199.800)$ değeri en az 199.800 olabilir ama istendiği kadar artırılabilir. Yani 12 .kısıtın değeri, $[199.800, +\infty)$ aralığında değiştiği sürece elimizdeki en iyi çözüm takımı değişmeyecektir; fakat bu aralık dışında bir değişim yapılırsa en iyi çözüm takımı değişecektir.

Bu çalışmadaki karar değişkenlerinin katsayıları, Bulanık AAP yöntemi ile erişilen katsayılardan daha küçük oranda olacak şekilde değiştirilmiştir. Bir başka deyişle, analizler sonucunda ulaşılan katsayıların en düşük değeri $0,09180$ 'dir, katsayıların değeri bu değerden daha düşük bir değer olabilmesi durumu Senaryo 1'de ele alınmıştır. Bazı hammaddeler için katsayıların daha küçük bir orana sahip olması o hammaddenin daha az öneme sahip olması, bir başka deyişle nihai ürün bileşeninde müşteri tarafından tercih edilme durumunun nispeten azalması anlamına gelmektedir. Bu senaryo kapsamında N kodlu raf sistemi matematiksel modeli açıklanan senaryoya göre tekrar çalıştırılmış ve hammaddelerin yerleştirildikleri hücreler ve miktarlar değişmekle birlikte sağlanan faydanın azaldığı görülmüştür. Senaryo 1'in gerçekleşmesi durumunda hammaddelerin yerleşim düzeni Tablo 11'de ifade edilmektedir.

Tablo 11

N Kodlu Raf Sistemine Hammadde Atamaları (Senaryo-1)

Hücre	Hücre	Hücre	Hücre	Hücre	Hücre
	9	1	1	1	2
	3 ve 6	3	3	3	3
	3	4 ve 7	4	4	3 ve 4
1 ve 2	3 ve 8	1 ve 5	4	6	1 ve 4

İkinci senaryo olarak hammaddelerin aynı önem derecesine sahip olması durumu incelenmiştir. Tüm hammaddelerin önem derecesinin eşit önem düzeyine sahip olmaları bu önem derecelerinin de 1 olduğu durumda ikinci senaryonun gerçekleşebilmesi durumunu ifade etmektedir. N kodlu raf sistemi matematiksel modeli açıklanan senaryoya göre tekrar çalıştırılmış ve hammaddelerin yerleştirildikleri hücreler ve miktarlar değişmekle birlikte amaç fonksiyonu değerinin arttığı görülmüştür. Fayda durumunun

artması ile birlikte depolama raflarına atanan hammadde miktarlarının da arttığı sonucu elde edilmiştir. Bu durum fayda-maliyet analizinde avantajlı sonuçlar vermesine karşın firma tarafından hayata geçirilebilecek potansiyele sahip değildir, raflarda tam doluluk oranına sahip olunması durumuna depolama biriminin sahip olduğu teçhizat ve ekipmanların elverişli olmadığı ve ek yatırımı gerektirdiği ifade edilmiştir. Senaryo 2'nin gerçekleşmesi durumunda hammaddelerin yerleşim düzeni Tablo 12'de ifade edilmektedir.

Tablo 12

N Kodlu Raf Sistemine Hammadde Atamaları (Senaryo-2)

Hücre	Hücre	Hücre	Hücre	Hücre
1	1	2 ve 4	3 ve 4	6
2 ve 6	5 ve 7	3	3	3
3	4	4	4	4 ve 9
4	6 ve 8	3	1 ve 5	1 ve 8

Matematiksel model sonucunda ulaşılan çözüm firma ile paylaşılmıştır. Paylaşılan sonuca göre gerekli düzenlemelerin yapılmasına katkıda bulunulmuştur. Firmanın mevcut durumuna göre kurulmuş olan bu modellerin, değişen koşullara uyum sağlaması amacıyla bir programlama temeline oturtularak özel bir yazılım hazırlanabilir. Ayrıca, insansız depolara doğru yönelimin oluşması ile robotik depolama cihazları kullanılmaya başlandığından bu cihazlara ilgili atamaların kodlamaları yapılabilir. Bu sayede çalışma, hem disiplinler arası kulvarda yer alacak hem de dinamik hale getirilmiş olacaktır. Sürdürülebilir yeşil depo konseptine uyum sağlanarak taşıma ve aydınlatma maliyetlerinin, hareket sayılarının azaltılarak teknolojik ve organizasyonel çözüm kümeleri ile depo süreçlerinde verimlilik artırılmış olacaktır (Akandere, 2019).

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Şakire Nesli DEMİRCİOĞLU, verilerin toplanması, analizlerin yapılması, modelin kurulması konularından sorumlu iken; Eren ÖZCEYLAN, yöntemin doğrulanması ve sonuçların anlamlı bir şekilde yorumlanması konularında katkı sağlamıştır.

Kaynaklar

Agarwal, D., Singholi, A. ve Bharti, P. (2017). Study of Facility Layout Planning Algorithms and Approaches. *Global Journal of Enterprise*

- Information System*, 9(4), 81-95. Doi: <https://doi.org/10.18311/gjeis/2017/16056>
- Akandere, G. (2019). Yeşil Depo Yönetimi Uygulamalarının İşletme Performansı Üzerine Etkisi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 33(3), 737-754.
- Arabacı, S., Akdemir, Ç., Doğan, S. ve Mengi, B. (2019) Stok Yönetiminde ERP'nin Hileyi Önlemeye Yönelik Kullanılması ve Bir Uygulama. *Finans, Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(3), 444-458. Doi: <https://doi.org/10.29106/fesa.618145>
- Arunyanart, S. ve Pruekthaisong, S. (2018). Selection of multi-criteria plant layout design by combining AHP and DEA methodologies. *MATEC Web of Conferences*, 1-5. France: EDP Sciences.
- Bartoszewicz, A. ve Latosinski, P. (2019). Sliding mode control of inventory management systems with bounded batch size. *Applied Mathematical Modelling*, 66(2), 296-304.
- Beğik, M., Hamurcu, M. ve Eren, T. (2017). Stok Kontrolde ABC Analizi Ve Analitik Ağ Süreci Yönteminin Isı Cihazları Firmasında Uygulanması, *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(1), 197-216.
- Chang, Y. ve Zhang, L. (1992). Extent Analysis and Synthetic Decision. *Optimization Techniques and Applications*, 1(1), 352-359. Doi: <https://doi.org/10.4236/jsea.2013.69057>
- Chapman, S. (2006). *The Fundamentals of Production Planning and Control* (1. Baskı). New Jersey: Pearson Education. Erişim adresi: <https://www.pearson.ch/HigherEducation/Pearson/EAN/9780130176158/Fundamentals-of-Production-Planning-and-Control>
- Çolak, M., Keskin, G., Günel, G. ve Akkaya, D. (2016). Bir Kimya Firmasında Hammadde Deposunun Etkin Yerleşimi için Bir Model Önerisi. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(2), 55-76.
- Dargi, A., Anjomshoe, A., Galankashi, M., Memari, A. ve Tap, M. (2014). Supplier Selection: A Fuzzy-ANP Approach. *Information Technology and Quantitative Management*, 31(5), 691-700. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.05.317>.
- Dursun, E. ve Gürgen, E. (2020). Konteyner Terminal Stok Yönetiminde ABC Analizi Ve Bulanık Sınıflandırma, *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(46), 563-583
- Evinsel, C. (2010). *Depo Tasarımı ve Yerleşimi* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul. Erişim adresi: <https://nek.istanbul.edu.tr/4444/ekos/TEZ/46193.pdf>
- Fan, J. ve Wang, G. (2018). Joint optimization of dynamic lot and warehouse sizing problems. *European Journal of Operational Research*, 267(3), 849-854.
- Flamand, T., Ghoniem, A., Haouari, M. ve Maddah, B. (2018). Integrated assortment planning and store-wide shelf space allocation: An optimization-based approach. *Omega*, 81(8), 134-149.
- Gül, G., Erol, B., Öngelen, G., Eser, S., Çetinkaya, Ç., Özmutlu, H., Özmutlu, S., Gökçedağlıoğlu, M. ve Erhuy, C. (2016). Ambar Depolama Maksimizasyonu. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27(4), 26-38. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/endustrimuhendisligi/issue/46762/585986>
- Huang, H., Yao, L., Chang, J., Tsai, C. ve Kuo, R. (2019). Using Product Network Analysis to Optimize Product-to-Shelf Assignment Problems. *Applied Sciences*, 9(8), 1-18.
- Hübner, A. ve Schaal, K. (2017). An integrated assortment and shelf-space optimization model with demand substitution and space-elasticity effects. *European Journal of Operational Research*, 261(1), 302-316. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.01.039>
- Indap, S. (2018). Application of the Analytic Hierarchy Process in the Selection of Storage Rack Systems For E-Commerce Clothing Industry. *Journal of Management, Marketing and Logistics*, 5(4), 255-266.
- Jamali, N., Feylizadeh, M. Liu, P. (2021). Prioritization of aircraft maintenance unit strategies using fuzzy Analytic Network Process: A case study, *Journal of Air Transport Management*, 93, 1-13.
- Karagiannis, G. (2018). Partial average cross-weight evaluation for ABC inventory classification, *International Transactions in Operational Research*, 28(2), 1526-1549.
- Liu, Y., Tang, W., Ma, Y. ve Xie, Q. (2020). A partition design for a rotary shelf system based on ABC classification, *Journal of Physics: Conference*

- Series, Volume 1732, The 2nd International Seminar on Computer Science and Engineering Technology (SCSET) 2020 30-31 October 2020, Shanghai, China, Doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1732/1/012183>.*
- Mahdiyari, A., Tabatabaee, S., Durdyev, S., Ismail, S., Abdullah, A., Mardiah, W. ve Rani, W. (2019). A prototype decision support system for green roof type selection: A cybernetic fuzzy ANP method, *Sustainable Cities and Society*, 48, 1-9.
- Mehdizadeh, M. (2020). Integrating ABC Analysis and Rough Set Theory to Control the Inventories of Distributor in the Supply Chain of Auto Spare Parts, *Computers and Industrial Engineering*, 139, 1-21. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.047>.
- Micale, R., Fata, L. ve Scalia, L. (2019). A combined interval-valued ELECTRE TRI and TOPSIS approach for solving the storage location assignment problem. *Computers&Industrial Engineering*, 135(9), 199-210.
- Mistarihi, M., Okour, R. ve Mumani, A. (2020). An integration of a QFD model with Fuzzy-ANP approach for determining the importance weights for engineering characteristics of the proposed wheelchair design. *Applied Soft Computing*, 90, 1-12. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106136>.
- Moons, K., Waeyenbergh, G., Pintelon, L., Timmermans, P. ve Ridder, D. (2019). Performance indicator selection for operating room supply chains: An application of ANP, *Operations Research for Health Care*, 23, 1-14. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2019.100229>.
- Onut, S., Tuzkaya, U. ve Torun, E. (2011). Selecting container port via a fuzzy ANP-based approach: A case study in the Marmara Region, Turkey. *Transport Policy*, 18(1), 182-193. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.08.001>
- Ömürbek, N. ve Şimşek, A. (2014). Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Ağ Süreci Yöntemleri ile Online Alışveriş Site Seçimi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 12(22), 306-327. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/download/article-file/203388>.
- Özdemir, A. ve Demirer, B. (2015). Analitik Hiyerarşi Süreci ile Ağırlıklandırılmış Dinamik Programlama Modelinin Satın alma Sürecine Uygulanması. *Journal of Economics and Administrative Sciences*, 17(1), 61-69. Doi: <https://doi.org/10.5578/jeas.9257>.
- Özkaya, G. ve Erdin, C. (2020). Evaluation of smart and sustainable cities through a hybrid MCDM approach based on ANP and TOPSIS technique, *Heliyon*, 6(10), Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05052>.
- Öztürk, Z., Özer, E., Gülen, Ç., Çiçek, A. ve Serttaş, M. (2019). Mathematical and Heuristic Solution Approaches for Shelf Assignment Problem in Multiple Warehouses. *Journal of Industrial Engineering*, 30(1), 63-74.
- Özyörük, B. ve Ak, S. (2012). Etkin Depo Yerleşiminin Düzenlenmesi için Bir Model: Elektronik Firmada Uygulanması. *Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi*, 5(1), 21-29. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/pub/tubav/issue/21526/230974>.
- Palut, P. ve Okçuoğlu, F. (2019). Depo Tasarımı ve Yerleşimi: Bir Gerçek Hayat Uygulanması, *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 14-22.
- Roodbergen, K. ve Vis, I. (2009). A Survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European Journal of Operational Research*, 194 (2), 343-362. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.01.038>.
- Saaty T. (1990). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26. Doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)
- Saaty, T ve Özdemir, S. (2003). Why The Magic Number Seven Plus or Minus Two. *Mathematical and Computer Modelling*, 38(3-4), 233-244. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0895-7177\(03\)90083-5](https://doi.org/10.1016/S0895-7177(03)90083-5).
- Sever, M. (2006). *Kurumsal Mobilitenin Depo Yönetiminde Uygulanması: Bir Örnek Olay* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul. Erişim adresi: <http://nek.istanbul.edu.tr:4444/ekos/TEZ/42062.pdf>
- Turanoğlu, B ve Akkaya, G. (2017). The Dynamic Facility Layout Problems with Closeness Rate: A Fuzzy Decision Support System Approach. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknik Dergisi*, 5(3), 300-311. Erişim adresi:

<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/400047>

- Tümtürk, A. ve Tolun, B. (2021). Bir Depo Tesisine Alınacak Paketleme Makinesi Seçim Kararının Analitik Ağ Süreci Tabanlı Gri İlişkisel Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi, *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2021, 10(2), 971-985.
- Uçakcıoğlu, B. ve Eren, T. (2017). Hava Savunma Sanayinde Yatırım Projelerinin Çok Ölçütlü Karar Verme ve Hedef Programlama ile Seçimi, *Journal of Aviation*, 1(2), 39-63.
- Ulutaş, B. ve İslir, A. (2009). A Clonal Selection Algorithm for Dynamic Facility Layout Problems. *Journal of Manufacturing Systems*, 28(4), 123-131. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2010.06.002>
- Vukasović, D., Gligović, D., Terzić, S., Stević, Z. ve Macura, P. (2021). A Novel Fuzzy MCDM Model For Inventory Management In Order To Increase Business Efficiency, *Technological and Economic Development of Economy*, 27(2), 386-401.
- Yalçiner, A. ve Can, B. (2019). Tam Sayılı Programlama ve Simülasyon ile Raf Alanı Optimizasyonu: Bir Ambalaj Firmasında Uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel yayın, 375-388.
- Yang, M. (1999). An efficient algorithm to allocate shelf space. *European Journal of Operational Research*, 131(1), 107-118. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00448-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00448-8).
- Yurdakul, M., Eşkin, S. ve İç, Y. (2009). Bir İmalat Sisteminin Yerleşim Düzeninin İyileştirilmesi. *Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi*, 2(4), 399-411. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tubav/issue/21517/230896>
- Yücenur, N. (2017). Turizm sektöründe strateji seçimi için bulanık veriler yardımıyla hiyerarşik ağ modeli ve SWOT analizi: Türkiye örneği. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(5), 915-931. Doi: <https://doi.org/10.16984/sofenbilder.337268>.
- Zhang, Z., Li, K., Guo, X. ve Huang, J. (2020). A probability approach to multiple criteria ABC analysis with misclassification tolerance, *International Journal of Production Economics*,

229, 1-12, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107858>.

- Zhang, G., Nishi, T., Turner, S., Oga, K. and Li, X. (2017). An integrated strategy for a production planning and warehouse layout problem: Modeling and solution approaches. *Omega*, 68(4),85-94. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.06.005>.
- Zhang, G. ve Lai, K. (2006). Combining path relinking and genetic algorithms for the multiple-level warehouse layout problem. *European Journal of Operational Research*, 169(2), 413-425. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.08.007>.