

Birliktelelik Kuralları ve Genetik Algoritma İle Sipariş Yiğınlama Probleminin Çözümü: Bir Ecza Deposunda Uygulama

Furkan Yener | Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Sakarya, Türkiye, fyener@sakarya.edu.tr

Harun Reşit Yazgan | Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Sakarya, Türkiye, yazgan@sakarya.edu.tr

Serap Ercan Cömert | Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Sakarya, Türkiye, serape@sakarya.edu.tr

Sena Kır | Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Sakarya, Türkiye, senas@sakarya.edu.tr

Yağmur Kaya | Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Sakarya, Türkiye, ygmr-kaya@hotmail.com

Anahtar Sözcükler:

Depo Yönetimi,
Veri madenciliği,
Genetik Algoritma,
Sipariş Yiğınlama,

ÖZ

Bu çalışmada, bir ecza deposunun günlük sipariş toplama stratejisi incelenmiş ve uygun bir yaklaşım geliştirilmiştir. Ürünlerin ve siparişlerin hacimsel olarak küçük olduğu, toplayıcı kapasitesinin göreceli olarak büyük olduğu depolar için uygun olan, sipariş yiğınlama stratejisi kullanılmıştır. Günlük siparişler, siparişler arası ilişkiyi en büyükleyen bir matematiksel modelin yardımıyla sipariş yiğınlarına ayrılmış. Birden çok siparişin bir araya gelmesiyle oluşan yiğınlar içerisinde benzer ürünleri içeren siparişler bulunduğu için toplama sırasında ki kayıp zaman ve mesafeden tasarruf sağlanacaktır. Matematiksel modelin kesin çözümünün zaman alması nedeniyle genetik algoritma kullanılarak sonuç üretilmiştir. Farklı toplama stratejileri sonucunda kat edilen toplam mesafe benzetim yardımıyla hesaplanarak, istatistiki olarak sonuçların güvenilirliği ve performansları sonuç bölümünde tartışılmıştır.

Solution Of Order Batching Problem With Association Rules And Genetic Algorithm: A Case Study In Pharmacy Warehouse

Keywords:

Warehouse
Management,
Data Mining,
Genetic Algorithm,
Order Batching.

ABSTRACT

In this study, daily strategy of order picking is examined and proposed a new approach in a pharmacy warehouse. If the goods and orders are relatively small for the picker's capacity, the order batching strategy should put to use. Daily orders was divided to order batches using mathematical model maximised the relationship among the orders. The order batches which are consist of more than one orders save up time and distance during the order picking period. Optimum solution of mathematical model take up time so that Genetic algorithm is used for order batching problem. Travelled the total distance is simulated in existing and batching strategy, the confidingness and performance of the results are tested statistically and argued in conclusion.



1. GİRİŞ

Üretim sistemlerinin önemli bir parçası haline gelen depolar; hammadde, yarı mamul veya son halini almış ürünlerin, tüketiciye ulaştırılmadan önce bekletildiği yerlerdir. Depolarda ürün akışı; kabul, stoklama ve sevkiyat işlemleri olarak gruplandırılabilir. Kabul işlemi, depo içerisine girmeyi bekleyen ürünlerin sistemli bir şekilde depo içerisine alınması olarak tanımlanır. Bu adımda gerekli kalite kontrol işlemleri ve ürünlerin kayıtları yapılır. Stoklama adımı, depo içerisine alınan ürünlerin ait oldukları müşteriye ulaşıncaya kadar bekletilmesidir. Bu esnada ürünlerin uygun ortamlarda saklanması gerekir. Bu nedenle ürünlerin kendisinde veya ambalajlarında herhangi bir deformasyon olmaması gerekmektedir. Ürün çeşidine göre stoklama işleminde dikkat edilmesi gereken farklı unsurlar olabilir. Sevkiyat işlemi; siparişi alınan ürün yâda ürün gruplarının buldukları stoklama alanından manuel olarak veya otomatik sistemlerle toplanarak çıkış noktasına getirilmesini kapsamaktadır. Bu işlem sonrasında ürünler müşterilere sevk edilecektir.

Sevkiyat süreci içerisinde ağırlıklı olarak gerçekleşen sipariş toplama işlemi, depo içi faaliyetlerin %60'ını oluşturmaktadır Gademann ve Velde (2005); Le-Duc ve de Koster (2007). Sipariş toplama işleminde gerçekleşen ilk adım sevkiyat programına göre toplanacak ürünlerin belirlenmesidir. Daha sonra bu ürünleri en verimli şekilde toplamayı amaçlayan politikalar geliştirilmelidir. Oluşturulan toplama listeleri toplayıcılara atanır ve toplayıcılar, depo yönetimi tarafından belirlenmiş olan kurallar(FIFO/LIFO gibi) çerçevesinde toplamaya başlar. Toplayıcı topladığı bu ürünleri sevk alanına getirerek sipariş toplama işlemini bitirir. Ürünlerin depo içerisinden toplanması işlemi sürekli tekrarlanan bir işlem olması sebebiyle küçük kayıplar, toplamda depo verimliliği için büyük öneme sahiptir. Toplama işlemi sırasında verim kayıplarının olması sistematik bir çalışmanın var olmamasıyla alakalı olabilir. Bu durum toplama esnasında bir yoldan birden fazla kez gerek olmadan geçilmesi ile zaman ve iş gücü kaybına neden olmaktadır. Sipariş toplama için geliştirilmiş politikalar bu kayıpların azaltılmasını amaçlamaktadır. Bu yöntemlerin uygulanabilirliği deponun türüne, depo içerisindeki ürünlerin fiziksel özelliklerine ve çeşidine göre değişebilmektedir.

Sipariş toplama işlemini daha ayrıntılı incelediğimiz zaman içindeki adımları; gezinme, arama, toplama, hazırlık ve diğer işlemler olarak isimlendirebiliriz. Depo yönetiminin kapsamlı çalışması ve bilişim teknolojilerinin uygun kullanımı ile birlikte bu işlemler için gereken zaman minimuma indirilebilmektedir. Süre açısından bakıldığında verimliliğe en büyük etkisi olan adımın gezinme adımı olduğu görülmektedir.

Depo yönetimi ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı problemler tespit edilmiş ve bunlarla ilgili çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Depo tasarımı, sipariş toplama optimizasyonu, ürünlerin depo içerisindeki yerlerinin belirlenmesi, sipariş yığınlama ve ürünlerin hacimsel özelliklerini göre raflara yerleşimi gibi çeşitli problemler bulunmaktadır.

Sipariş yığınlama problemi, bir depo için alınan tüm siparişleri uygun bir algoritma kullanılarak yığınlar halinde kümelenmesidir. Bu yöntemde birden fazla sipariş bir araya gelerek daha büyük yığınlar oluşturulur. Yığın oluşturmada kullanılan kriterler, siparişler arası mesafe, siparişlerin zaman pencereleri ya da siparişler arasındaki ilişkiler olabilir. Yığınları toplayan toplayıcı bir defada birden fazla siparişi toplamış



olacaktır. Depo içerisindeki işlemleri daha kısa sürede ve daha az maliyetle tamamlamak için geliştirilmiş bu yöntemler kullanılarak, toplayıcıların kat ettikleri mesafeden ve toplama işlemi süresinden tasarruf edilmesi söz konusudur. Bu yöntemler için oluşturulmuş matematiksel modellerde maliyet, mesafe ve harcanan zaman en küçüklenmektedir.

Sipariş yığınlama problemi, NP-Zor sınıf bir problem olarak kabul edilir. Bu problemin çözümü için kullanılan ve optimum çözüm verebilen yöntemler; doğrusal programlama, dinamik programlama, dal-sınır vb. tam sayılı programlama yöntemleri ve dinamik programlama tabanlı algoritmalar olarak ifade edilebilir Gademann, Van Den Berg, ve Van Der Hoff (2001). Genellikle küçük boyutlu problemlerde kullanılan bu algoritmalar büyük lojistik problemleri için sonuç vermekte zorlanmaktadır. Bu nedenle büyük ölçekli problemlerde, meta sezgisel yöntemler tercih edilmektedir. Genetik algoritma, tavlama, karınca kolonisi, değişken komşu arama, tabu arama gibi meta sezgisel yöntemler kullanılarak daha büyük problemlerin çözümlerine ulaşılabilmektedir.

2. LİTERATÜR

Depo yönetimi konusundaki çalışmalar 1980'lerde hız kazanmıştır. Chen ve Wu (2005). Lojistik faaliyetlerine ait maliyetler sektör içi rekabet açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır. Depoya ait maliyetler arasında en yüksek önceliğe sahip olan maliyet sipariş toplama faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle firmaların en önemli hedeflerinden birisi depoların etkin olarak kullanılmasıdır. Yapılan literatür araştırmasında çoğunluklu olarak paralel koridorlu sırt sırta raf sistemi ile çalışan depolar üzerindeki çalışmalar göze çarpmaktadır Gademann ve Velde (2005); Le-Duc ve de Koster (2007); Albareda-Sambola vd. (2009); Henn ve Wäscher (2012). Bunların yanı sıra farklı yerleşim tiplerine sahip depolar ve 3-boyutlu incelenmesi gereken depolar üzerine yapılmış çalışmalarda bulunmaktadır Hsu, Chen, ve Chen (2005). Bu depoların performansı; finansal performans, verimlilik, kalite performansı ve çevrim zamanı performansı kriterlerine göre belirlenmektedir Bayraktar vd. (2011). Bu performans kriterlerini iyileştirmek amacıyla farklı matematiksel modeller kurulmuştur. Bu modeller; maliyet tabanlı modeller, sipariş toplama modelleri, ürün atama modelleri ve sipariş yığınlama modelleridir. Maliyet tabanlı modellerde genellikle farklı depolama sistemlerinin depo içinde denenmesiyle, birbirinden farklı olan kriterlere göre maliyetlerin optimizasyonu amaçlanmıştır Karakış (2014).

İki temel sipariş toplama stratejisi bulunmaktadır. Birincisi toplayıcının her turda tek bir siparişi toplamasıdır. İkincisi ise toplayıcının bir tur içerisinde birden çok siparişi beraber toplamasıdır Albareda-Sambola vd. (2009). Sipariş toplama modellerinde çoğunlukla iki tip problem görülür. Bu problemler siparişlerin gruplandırılması ve siparişlerin toplanacağı aracın rotasının belirlenmesidir Şahin ve Kulak (2013). Problemin çözümüne bağlı olarak sipariş toplama ve araç rotalama problemleri uygulamalarda çözümü zor olan NP-zor sınıfı problemler sınıfına girmektedir Gademann ve Velde (2005). Bu nedenle çözüm algoritmaları daha çok sezgisel veya meta-sezgisel yöntemlerden oluşmaktadır. Ma ve Zhao (2014) literatürde bulunan ve sipariş yığınlama problemi için kullanılmış sezgisel ve meta-sezgisel algoritmalarla ilgili yayınları incelemişler ve sınıflandırmışlardır. Sipariş toplama modelleri çoğunlukla paralel raf sistemi ve tek toplayıcılar için çözümlenmiştir.



Sipariş toplama işlemi sırasındaki, operatörün rotasının uygun bir yaklaşım ile belirleyerek toplam kat edeceği mesafeden tasarruf sağlanmaktadır. Sipariş toplama rotalarının optimizasyonu ile ilgili çokça çalışma literatürde bulunmaktadır. Her bir ürün depoda belirli tek bir noktada değil de birden fazla yerde bulunması durumunda en uygun rotanın bulunması ile ilgili çalışmalarda yapılmıştır Daniels, Rummel, ve Schantz (1998).

Depo kullanım alanını bölgelere ayırarak, depolanacak ürünleri farklı ilişkilere göre bölgelere yerleştirmeye çalışan matematiksel modeller de mevcuttur. Bu tip modeller depo atama problemi olarak adlandırılan problemin çözümü için kullanılmaktadır. Garfinkel, Sharp, ve Sokol (2003) çalışmasında geçmiş siparişlerin gelecek siparişlere iyi bir tahmin unsuru olacağından, depo içerisinde yerleşim yaparken geçmiş siparişlerden de yararlanabileceği söylenmektedir.

Sipariş yığınlama problemi; Depoya gelen siparişlerin göreceli olarak toplama aracının kapasitesinden küçük olduğu durumlarda sipariş yığınlama işleminin yapılması uygundur. Sipariş sevkiyatı tırlarla yapıldığında artık bir tırın kapasitesi büyüklüğünde ürün farklı müşterilere gidecek olsa bile tek bir sipariş olarak depo yönetimine etki edebilir. Literatürde yapılan çalışmalarda bu tarz yığınlardan da büyük sipariş topluluklarını dalga olarak isimlendirilmektedir. Bir sipariş dalgasının, yığınlara bölünerek toplanması veya dağıtılması problemi de literatürde incelenmiştir Gademann, Van Den Berg, ve Van Der Hoff (2001). Oluşturulacak yığınların büyüklükleri ile ilgili verilen kararlar depo verimliliğini direk etkilemektedir. Lojistik depolarında toplama aracının kapasitesi aşmayacak şekilde oluşturulabilecek en büyük yığınlar oluşturulur. Hammadde veya yarı-mamul depolarında sipariş hemen üretime ulaştırılması gerektiği için daha büyük yığınların toplanması sırasında siparişler yetişmeyebilir. Le-Duc ve de Koster (2007) çalışmasında depoya gelen siparişleri poisson dağılıma göre modellemiştir. Literatürde sıkça karşılaştığımız S-tipi toplama stratejisini uygulayarak uygun yığın büyüklüğünü çalışmasında tespit etmiştir. Van Nieuwenhuyse, de Koster, ve Colpaert (2007), sipariş toplama ve elleçleme işlerinin ayrı ayrı yapıldığı depoda, sipariş yığınlama süresinin, ortalama müşteri sipariş çıkış zamanı üzerindeki etkisini incelemiştir. Sipariş yığınlama probleminde sipariş gecikme süresini optimize eden modellerde görülmektedir.

Sipariş yığınlama probleminin çözümü için kullanılmış sezgisel algoritmalar incelendiğinde; Klasik algoritmalar Gademann ve Velde (2005; Le-Duc ve de Koster (2007), veri madenciliği temelli sezgiseller Chen ve Wu (2005), arama algoritmaları Daniels, Rummel, ve Schantz (1998), evrimsel algoritmalar Hsu, Chen, ve Chen (2005) ve zaman pencereli yaklaşımlar Gademann, Van Den Berg, ve Van Der Hoff (2001) gibi çeşitli çözüm yöntemleri ile karşılaşılmaktadır.

Depo içerisinde sevkiyatı fazla olan ürünlerin giriş ve çıkış kapılarına yakın yerlere konması gerektiği bilinmektedir. Aynı zamanda beraber daha çok sipariş edilen ürünler aynı zamanlarda depo içerisinden sevk edileceği için bu ürünleri birbirlerine yakın yerleştirmekte gerekmektedir.

Yapılan literatür taramasında sipariş yığınlama modellerinin teslim zamanını, işlem süresini ve gezi rotasını en küçüklediği görülmüştür. Sipariş yığınlama problemlerinde oluşturulan matematiksel modellerin çözümü çeşitli nedenlerle mümkün olmaz. Bu durumlarda sezgisel veya meta-sezgisel algoritmalarından yararlanılır. Hsu, Chen, ve



Chen (2005) çalışmasında, sipariş yığınlama problemi için genetik algoritmalarından yararlanmıştır.

Farklı stratejilerin geliştirildiği ve depoya uygulamanın çok maliyetli olduğu durumlarda benzetim tekniği uygulanarak farklı senaryoların performansları ölçülebilir. Bayraktar vd. (2011) Gerçek hayat kısıtlarını mümkün olduğunca içeren bir benzetim modeli ile bir beyaz eşya şirketinin deposu incelenmiş ve tespit edilen darboğazlara çözüm üretilmiştir. Sonuç olarak mevcut sistemdeki başlıca problem olan araçların rampada ortalama bekleme süresi uzunluğu, mal kabul alanının yoğun kullanım oranı ve raf önünde ürünlerin bekleme süresi uzunluğu geliştirilen iyileştirme önerileri ile azaltılmıştır.

Siparişlerin depolara iletilmesi ve siparişlerin hızlı karşılanması açısından incelendiğinde depolar statik ve online depolar olmak üzere ikiye ayrılır. Statik depolarda gün içerisinde hazırlanması gereken toplam sipariş belirlidir. Online depolarda siparişler gün içerisinde depolara iletilmektedir. Statik depolarda sipariş yığınlama probleminin modellenmesi ve çözülmesi göreceli olarak daha kolaydır. Henn (2012) literatürde statik depolar için kullanılan sezgiselleri online depolar için modelleyerek kullanmışlardır. Sipariş yığınlama problemi için kurulan matematiksel modellerde genel olarak toplam mesafe en küçüklenmektedir. Şahin ve Kulak (2013) toplam gezinme mesafesini en küçükleyen bir matematiksel model önermişlerdir. Kapasite ve hazırlık zamanlarının kontrolü içinde modellerine kısıt eklemişlerdir. Oluşturulan yığın kapasitesi toplayıcı aracın kapasitesini aşamaz. Siparişlerin hazırlık zamanları toplamı da, yığın hazırlık zamanını aşmaması gerekmektedir. Oluşturulan matematiksel model genetik algoritma yardımıyla çözülmüştür. Problemlerin hiyerarşik çözümü yerine GA ile Kazanç ve En Yakın Komşu sezgiselleri birleştirilmek suretiyle GANN ve GAS isimli iki çözüm yöntemi sunulmuştur. Geliştirilen yöntemler, başlangıç çözümünün oluşturulmasında Rota Benzerlik Metodu'nun kullanımı, problemlere eş zamanlı olarak çözüm sunması ve çapraz geçitli depo yerleşimine uygulanması açısından literatürde ilktir.

3. METODLAR

3.1. Veri Madenciliği

Günümüz teknolojisindeki hızlı gelişmeler nedeniyle veri biriktirme imkânları artmış ve bu nedenle veri yığınları oluşmuştur. Veri yığınları içinde gizlenmiş örüntü bilgiye ulaşılması ve bu sayede kullanılabilir bilginin elde edilmesi için yapılan çalışmalara veri madenciliği denir. Veri madenciliği tekniklerinden biri olan market sepet analizi özellikle pazarlama alanında geniş kullanım alanlarına sahiptir. Market sepet analizi sonucunda elde edilen birliktelik kuralları sayesinde ürünler arası ilişkiler ve bu ilişkilerin kuvvetine ulaşılabilir. Veri tabanlarından çekilen bilgiler ile belirlenen birliktelik kuralları müşterilerin hangi ürünleri birlikte aldığı, en çok hangi ürünlere ihtiyaç duydukları gibi sorulara yanıt verir. Geniş veri setleri içerisindeki birliktelik kurallarının hızlı ve doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için; Agrawal, Srikant, ve others (1994) apriori algoritmasını geliştirmişlerdir. Birliktelik kuralları oluşturulurken güven ve destek değerlerinden yararlanılmaktadır Cil (2012).

$$Destek(X) = \frac{X \text{ ürünü satın alan müşteri sayısı}}{\text{Toplam müşteri sayısı}} \quad (1)$$



$$Destek(X, Y) = \frac{X \text{ ve } Y \text{ ürününü birlikte alan müşteri sayısı}}{\text{Toplam müşteri sayısı}} \quad (2)$$

$$Güven(X, Y) = \frac{X \text{ ve } Y \text{ ürününü birlikte alan müşteri sayısı}}{X \text{ ürünü satın alan müşteri sayısı}} \quad (3)$$

Birliktelik kurallarında öğeler arası birliktelik Destek ve Güven kriterleri ile belirlenir. Destek kriteri veri içerisinde bir ilişkiyi ne kadar sıklıkta bulunduğunu ifade eder. (1) ve (2) denklemleriyle veri içerisindeki ürünlerin Destek değerleri hesaplanabilir. Birliktelik kurallarında kullanılan bir diğer kriter ise Güven değeridir. Bir ürünün hangi olasılıkla diğer bir ürün ile birlikte satın alındığı Güven değeri ile ifade edilir. (3) denklemleri ile Y ürününün hangi olasılıkla X ürünü ile birlikte alındığı hesaplanabilir. Güven değeri yönlü bir ilişki içerir, bu nedenle X'in Y ürününe olan güven değeri, Y'nin X ürününe olan güven değerine eşit olmayabilir.

3.2. Matematiksel Model

Sipariş yığınlama problemi için önerilen matematiksel modelin amacı siparişler arasındaki ilişkilerin büyüklüğü ile sipariş yığınları oluşturmaktır. Siparişler arası ilişki kavramı daha önce gelen siparişlerin aynı zamana denk gelme sıklığını ifade etmektedir. Bu ilişkinin en iyilenmesi sayesinde siparişlerin toplanması daha kolay ve daha kısa mesafede olacaktır. Çalışmada yer alan matematiksel model Chen ve Wu (2005) verilen matematiksel modelin geliştirilmesi sonucunda elde edilmiştir.

Amaç Fonksiyonu;

$$\text{En büyük } \sum \sum S_{ij} \cdot X_{ij} \quad (4)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^N X_{ij} = 1 \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, N, \quad (5)$$

$$X_{ij} \leq Y_j = 1 \quad \text{for } i, j = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^N Y_j = K, \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N V_i X_{ij} \leq C_v \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, N, \quad (8)$$

$$X_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for } i, j = 1, 2, \dots, N, \quad (9)$$

$$Y_j = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for } i, j = 1, 2, \dots, N, \quad (10)$$



S_{ij} = i ve j siparişi arasındaki ilişki miktarı

$$X_{ib} = \begin{cases} 1, & \text{i siparişi b yığınınına atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$Y_j = \begin{cases} 1, & \text{j siparişi yığın medyanı olursa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

V_i = i siparişinin hacim değeri

C_v = Taşıyıcının hacimsel kapasitesi

K = Yığın sayısı

N = Sipariş sayısı

Belirtilen matematiksel modelin amacı (4) oluşturulan yığınlar içerisindeki sipariş ilişkilerinin en büyüklenmesi olacaktır. Bu amaç sağlanırken bir siparişin yalnızca bir yığında bulunması gerekmektedir (5). Ayrıca sipariş yığını içine atanmamış bir sipariş başka bir siparişe ilişkilendirilerek atamamamız gerekir (6). Yığın içerisinde baz aldığımız ürün sayısı kadar yığın oluşturmamız gereklidir (7). Toplanacak yığının toplam büyüklüğü toplayıcının kapasitesini aşamaz (8). Siparişler yığınlara atanma ve siparişin ortanca seçilmesi durumu 0-1 olarak tanımlanabilir (9,10).

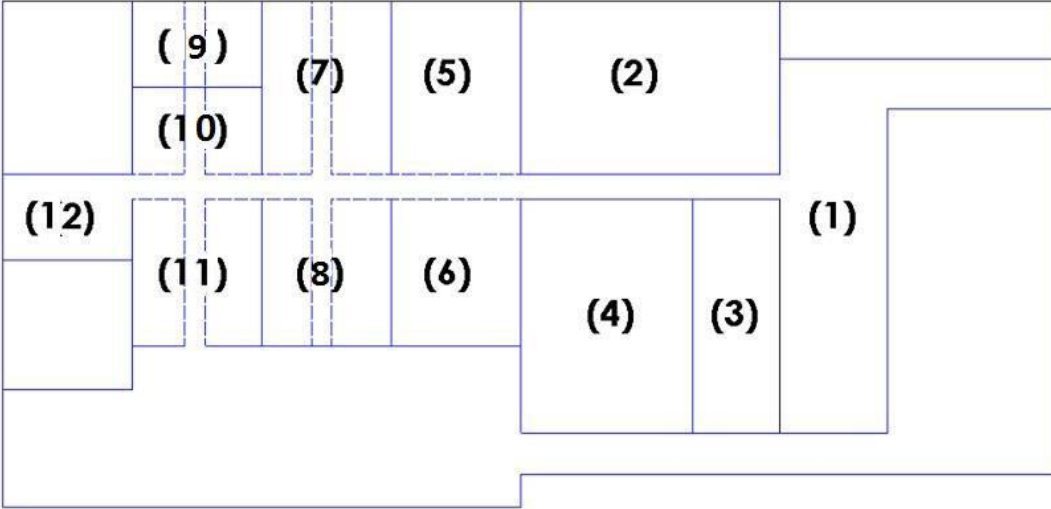
4. Uygulama

4.1. Problem Tanımı

Sipariş yığınlama problemi; müşteri siparişleri, depo yerleşimleri, verilen rota stratejileri ve toplayıcı araçların kapasitesine göre sipariş toplanması sırasında kat edilen mesafeyi en aza indirilecek şekilde, toplanacak siparişlerin gruplandırılması ve yığınların oluşturulması ile ilgilidir.

Sipariş yığınlama stratejisi çok çeşitli ve küçük boyutlu ürün yelpazesine sahip depolarda kullanılması uygun görülmüştür. Bu nedenle uygulamada kullanılacak depo ABC ilaç deposu olarak belirlenmiştir. Depo içerisinde 12 farklı depolama alanı bulunmaktadır. Bu ilaç deposunda 305 farklı ilaç depolanmaktadır. Depoya gelen ilaç siparişleri toplanırken belirli bir strateji izlenmemektedir. İlk gelen sipariş herhangi bir gruplama ve rotalama olmadan taşıyıcı tarafından toplanmaya gönderilmektedir. Toplama esnasında diğer siparişlerde de toplanması gereken benzer ürünler bulunmasına rağmen bunlar dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle toplayıcı gün içerisinde aynı yerden çok kez geçiş yapmaktadır. Bu yöntem siparişlerin toplanmasını karmaşık ve uzun hale getirmektedir. Uygulanan toplama yöntemi siparişleri zamanında teslim edilememesine neden olmaktadır. Gün içerisinde taşıyıcının aldığı yol ve toplama işlemi için harcanan zaman göz önüne alındığında yeterli verimlilik sağlanamadığı görülmektedir. ABC ilaç deposunda 12 farklı ürün ailesi depolanmaktadır ve depo içerisindeki yerleşim düzeni Şekil 1'de gösterilmektedir. Cevaplayıcıların sosyo-demografik özelliklerine ve e-alışveriş alışkanlıklarına ilişkin frekans dağılımları Tablo 2 ve Tablo 3'de yer almaktadır.





Şekil 1. ABC İlaç Deposu Yerleşim Düzeni

4.2. Önerilen Çözüm Aşamaları

Bu çalışmada ortalama 305 sipariş içeren 10 adet sipariş yığını için matematiksel model, mevcut yöntem ve genetik algoritma yöntemi kullanılarak hesaplanan mesafeler karşılaştırılacaktır. Uygulamada kullanılan taşıyıcı araç kapasitesi 0,150 m3 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında incelenen probleminin çözüm aşamaları Tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1. Önerilen çözüm aşamaları

Aşamalar	Gerçekleştirilen İşlem	Çözüm Aracı
1	Siparişler arası ilişkinin kurulması	Birliktelik Analizi
2	0-1 Tam sayılı programlama	Kesin Çözüm
3	Meta-Sezgisel Model Geliştirilmesi	Genetik Algoritma
4	Problemin Simülasyonu	Benzetim Modeli
5	Sonuçların Karşılaştırılması	ANOVA Testi

4.2.1. Aşama 1

Veri madenciliği tekniklerinden biri olan birliktelik analizi kullanılarak siparişler arası ilişki matrisi elde edilmiştir. Matematiksel model içerisinde bir parametre olarak kullandığımız Sij değeri yapılan birliktelik analizi sonucunda elde edilmiştir. Sij değeri i ve j siparişi arasındaki ilişkinin gücünü göstermektedir. Her hangi iki sipariş arasındaki ürünlerin benzeşmesi bu siparişlerin toplanması sırasında benzer rotaların izleneceğini de ifade etmektedir. Siparişlerin yığınlar haline çevrilmesi sırasında, benzerlik oranları yüksek olan siparişlerin aynı yığınlarda olması gerekmektedir. Bu sayede toplama işlemi sırasında kat edilecek toplam mesafeden tasarruflar sağlanmasını beklemekteyiz.

4.2.2. Aşama 2

Matematiksel model başlığı altında anlatılmış olan ve Chen ve Wu (2005) çalışmasından yararlanılarak geliştirilmiş 0-1 tamsayı matematiksel model birliktelik kuralları ile elde edilmiş Sij parametresini en büyükmektedir. ABC ilaç deposunun verilerinden elde edilmiş 10 farklı veri seti için bu modelin çözümü ticari bir yazılım



kullanılarak elde edilmiştir. Problemin büyüklüğü nedeniyle bir veri seti için en iyi çözüm yaklaşık 20 saat de alınabilmektedir. Örnek bir veri seti için elde edilen sonuçlar Şekil 2’de görülmektedir.

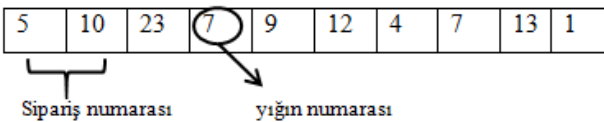
Yığın No	Siparişler
1	5 7 8 11 23 28 29 32 33 34 40 41 42 43 48 49 50 51 52 53 54 55 56 62 64 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 84 85 86 90 91 94 96 97 99 100 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 122 123 124 125 126 130 131 132 133 134 135 139 142 143 145 147 148 149 150 161 162 163 164 165 166 167 168 175 176 184 188 190 191 192 194 201 202 203 206 207 212 248 272 273 282 294 300 303 304 305
2	14 16 19 20 22 24 25 31 46 58 89 92 93 210 211 215 217 218 223 229 230 242 259 262 265 266 267 285 289
3	101 253 254
4	
5	4 26 30 35 36 38 39 44 45 47 57 60 61 83 95 214 216 228 251 252 276 277 278 291 301 302
6	1 2 3 12 37 59 121 177 213 219 220 224 226 227 231 232 255 257 258 260 261 268 269 270 274 275 279 283 284 286 287 288 290 292 293 297
7	27 65 88 146 179 186 196 198 209 222 235 238 243 249 264 271 280 295
8	225
9	21 115 118 120 129 136 144 152 153 155 169 170 171 172 180 181 182 183 233 234 256 263
10	6 9 10 13 15 17 18 63 87 98 113 114 116 117 119 127 128 137 138 140 141 151 154 156 157 158 159 160 173 174 178 185 187 189 193 195 197 199 200 204 205 208 221 236 237 239 240 241 244 245 246 247 250 281 296 298 299

Şekil 2. Matematiksel modelin çözümü ile elde edilen sipariş yığınları

Sipariş yığınlama problemi günlük siparişlerin tümünün yeni yığınlara ayrılması ve bu sayede beraber toplanacak siparişlerin belirlenmesi amacıyla çözülmektedir. Her gün en az bir kere çözülmesi gereken bu problem için çözümün performansı kadar, çözüm süreside önem arz etmektedir. Yaklaşık 20 saat içerisinde elde edilebilen bir çözüm, uygulama incelediğimiz ilaç deposu için kullanılabilir değildir. Bu nedenle daha hızlı çözüm üretme imkânı sağlayacak bir algoritma olarak düşünülen Genetik algorithmadan yararlanılmıştır.

4.2.3. Aşama 3

Genetik algoritma doğada iyi olan türün neslini devam ettirmesi, kötü olanın ise yok olması prensibini temel alarak geliştirilmiş bir eniyileme yöntemidir. Algoritmanın ilk adımında yazılan kurallar, daha önce matematiksel modelde belirlenmiş kısıtlara uygun olan kromozomlar oluşturmaktadır. Kromozomların kodlanmasında gerçek kodlama yöntemi kullanılmıştır. Kromozomların her bir geni Şekil 3’de görüldüğü gibi siparişlerin atanması gereken yığınları göstermektedir.



Şekil 3. Genetik algoritma kromozom yapısı

Kromozom üzerinde sipariş sayısı kadar gen bulunmaktadır. Her bir gen hanesinde yazan değer ise yığınları ifade etmektedir. İstenen sayıda kromozom üretilerek başlangıç popülasyonu oluşturulmuştur. Oluşturulan popülasyon içerisinde bazı kromozomlar rulet çemberi seçim tekniği ile seçilerek bir sonraki popülasyona

aktarılmıştır. Seçilen popülasyonundaki kromozomlar birbirleriyle tek noktali çaprazlama yöntemiyle çaprazlanarak yeni nesli oluşturmaktadır. Kromozom üzerindeki çaprazlama noktaları program tarafından rastgele olarak belirlenmektedir.

Çaprazlama aşamasından sonra bazı kromozomlar üzerinde mutasyonlar meydana gelmektedir. Mutasyondan etkilenecek kromozom ve gen yine rastgele olarak belirlenmektedir. Oluşan yeni nesil ve ana neslin birleşmesiyle oluşan popülasyon amaç fonksiyonuna uygunluğa göre büyükten küçüğe sıralanır. n kromozom sayılı popülasyon içerisinde n/2 kadarı seçilerek bir sonraki iterasyona aktarılır.

Popülasyonların oluşumu sırasında oluşan mutasyonlar, farklı noktalarda gerçekleşen çaprazlamalar, yetersiz kromozomların elenmesi olayları kromozom çeşitliliğini arttıran olaylardır. İterasyon sayısının fazla olması ve bu olayların her iterasyonda gerçekleşmesi optimum sonuca yaklaşmayı sağlamaktadır. Genetik algoritma ile örnek bir test seti için elde edilen sonuçlar Şekil 4'te görüldüğü gibidir.

Oluşturulan yığınlar	Yığında bulunan ürünler
1	5,7,8,11,23,28,29,32,33,34,40,41,42,43,48,49,50,51,52, 53,54,55,56,64, 66,67,68,69,70,71,72,73,74,76,77,78,79,80,81,82,84,85,86,90,91,94,96,97,99,100 102,103,104,105,106,107,108,109,110,111,112,122,123,124,125,126,131,132,133,134,135, 99,139,143,145,147,148,149,150,162,163,164,165,166,167,168,175,176,184,188,190,191 192,194,201,202,203,207,206,212,248,272,273,282,294,300,303,304,305
2	14,16,19,20,22,24,25,31,46,58,89,92,93,210,211,215,217,218,223,229,230,242,262,265 266,267,285,289
3	253,254
4	
5	4,26,30,35,36,38,39,44,45,47,60,61,83,95,177,214,216,228,251,252,263,276,278,291,302
6	1,2,3,12,37,59,121,213,219,220,224,226,231,232,255
7	27,65,88,146,179,186,196,198,209,222,235,238,243,249,264,271,280,295
8	101
9	21,115,118,120,129,136,144,152,153,155,169,170,171,172,180,181,182,183,225,233,234,256 268
10	6,9,10,11,13,15,17,87,98,113,114,117,119,127,128,137,138,140,141,151,154,157,158,159,160,173,1 74,178,185,187,189,193,195,197,199,200,204,205,208,221,236,237, 240,241,244,245,246,247,250,281,296,298,299,116,156

Şekil 4. Genetik algoritma ile elde edilen sipariş yığınları

4.2.4. Aşama 4

Bu çalışmada ABC ecza deposunun bir gün içerisinde toplamı gereken siparişleri, sipariş yığınlarına dağıtarak siparişlerde ortak olan bazı ürünlerin tek seferde sevkiyat noktasına getirilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle öncelikle siparişler arasındaki ilişki Birliktelik analizi kullanılarak belirlenmiştir. İlişkileri yüksek olan siparişlerin aynı yığınlar içerisinde bulunmasını sağlayan matematiksel bir model kurulmuştur. Matematiksel model aynı zamanda yığınların hacimleri ile taşıyıcı aracın kapasitesi kontrol ederek, taşıyıcının kapasitesinden fazla sipariş toplamayı engellemektedir. Oluşturulan matematiksel model ticari bir yazılım yardımıyla çözülebilmekte fakat çözüm süresi çok fazladır. Bu nedenle Genetik algoritma kullanılarak matematiksel model daha kısa sürede çözülmüştür. Farklı çözümlerin performanslarının elde edilmesi amacıyla 3 boyutlu bir ticari yazılımdan yararlanılarak benzetim modeli oluşturulmuştur. Öncelikli olarak depo içerisinde çalışmadan önceki toplama şekli ile 10 farklı test seti toplatılmıştır. Mevcut yöntem olarak isimlendirdiğimiz toplama şekli



ile her bir veri setinin toplanması sırasında toplam kat edilen mesafe benzetim sonuçlarından elde edilmiştir. Ticari bir yazılım kullanılarak çözülmüş matematiksel modelin ürettiği sipariş yığınlarının toplanması sırasında toplam ne kadar mesafe kat edildiği de hesaplanmıştır. Aynı veri setleri genetik algoritma yardımı ile sipariş yığınlarına dağıtılmış ve elde edilen sipariş yığınları benzetim kullanılarak toplatılmıştır. Üç farklı toplama stratejisi sonucunda her bir test setindeki siparişlerin toplanması sırasında kat edilen toplam mesafeler Tablo 2'de görülmektedir.

Benzetim sonuçları üzerinden yüzdesel iyileşme oranlarını ve sezgisel hata yüzdesini formül (11) ile hesaplanmıştır Kır ve Yazgan (2016).

$$\text{Sezgisel Hata} = \frac{\text{Sezgisel çözüm} - \text{Optimum çözüm}}{\text{Optimum çözüm}} \quad (11)$$

Tablo 2. Benzetim Sonuçları

Test Seti	Mevcut Yöntem(m)	Genetik Algoritma(m)	Genetik Algoritma İyileştirme oranı(%)	Matematiksel Model (m)	Matematiksel Model İyileştirme oranı(%)	Sezgisel Hata (%)
1	6620	4039	0,39	3685,2	0,44	9
2	7800	3522	0,55	3003,7	0,61	15
3	8352	3413	0,59	3022,36	0,64	11
4	8217	3177	0,61	2783,3	0,66	12
5	6350	3363	0,47	2800,5	0,56	17
6	7350	4191	0,43	3543,2	0,52	15
7	7025	3426	0,51	3050	0,57	11
8	6889,5	3441,2	0,50	2903,9	0,58	16
9	6123	3285,6	0,46	2680	0,56	18
10	7836,2	4250,5	0,46	3782,6	0,52	11

4.2.5. Aşama 5

Benzetim yardımıyla elde edilen sonuçların istatistiki olarak anlamlılığını incelemek için anova testi yapılmıştır. Anova testi için H0 ve H1 hipotezleri kurulmuştur.

H0: Sipariş toplama stratejileri arasında anlamlı bir fark yoktur.

H1: Sipariş toplama stratejileri arasında anlamlı bir fark vardır.

İstatistiki yaklaşıma göre, Anova testi %95 güven aralığında $P < 0.001$ olarak elde edildiği için H0 hipotezini red ederek H1 hipotezini kabul eder.

5. Sonuç

Bu çalışma kapsamında ABC ecza deposunun bir günlük siparişlerini toplaması sırasında uygulaması gereken stratejiler incelenmiştir. Sipariş edilen ürünlerin çeşitleri, hacimleri ve miktarları yapısal olarak sipariş yığınlama işleminin yapılmasına uygun olduğu tespit edilmiştir. Toplayıcının, farklı eczanelerin siparişlerini aynı tur içerisinde toplaması uygun görülmüştür. Bu nedenle aynı ve benzer ürünleri içeren siparişleri aynı yığın içerisinde buluşturacak matematiksel bir model oluşturulmuştur.

Depo içerisinde uygulanan mevcut toplama şekli, matematiksel modelin kesin çözümü ve genetik algoritma ile çözümü sonucunda elde edilen üç farklı toplama stratejisi üretilmiştir. Benzetim çalışması sonucunda her bir strateji uygulanması durumunda toplayıcının kat edeceği toplam mesafe Tablo 2'de görülmektedir.



Matematiksel modelin kesin çözümü ile elde edilen sonuçlar %45 ile %65 arasında bir iyileşme sağlamaktadır. Her gün toplanması gereken sipariş seti için en az bir kez yapılması gereken bu işlem, günümüz teknolojisi ve mevcut ticari yazılımlar ile birlikte yaklaşık 20 saat sürmektedir. Geliştirilebilecek en yüksek iyileştirme miktarlarını göstermesi açısından çok önemli bir bilgi olmasına rağmen, bu problem özelinde uygulanabilir değildir.

Genetik algoritma yardımıyla matematiksel modelin çözüm performansı incelendiğinde, iyileştirme oranlarının %40 ile %60 arasında seyrettiği görülmektedir. Matematiksel model ile elde edilen çözümlerden performans olarak daha zayıf olmasına rağmen işlem süresi yaklaşık 10 ile 15 dakika arasındadır. İşlem süresi çok kısa olduğu için her sabah depo yönetimi günlük tüm siparişleri genetik algoritma ile yığınlara ayrıştırarak toplama işlemine başlayabilir.

Literatürde sezgisel hata olarak isimlendirilen, sezgisel veya meta-sezgisel algoritmanın performansını belirlemek için kullanılan bu parametrenin %9 ile %18 arasında seyrettiğini görmekteyiz. Bir ölçüde sezgisel hataya sahip olmasına rağmen Genetik algoritmanın işlem süresi açısından çevikliği nedeniyle kullanımı daha uygundur.

Sonuç olarak, Genetik algoritma ile sipariş yığınlarının oluşturulması ve depodaki toplayıcının her bir turda bir yığın toplaması ABC ecza deposu için uygun bir toplama şeklidir. İleriki çalışmalar da, kullanılan genetik algoritma operatörlerinin geliştirilmesi veya farklı sezgisel veya meta-sezgisel algoritmaların kullanılması uygun olabilir.

KAYNAKÇA

- Agrawal, Rakesh, Ramakrishnan Srikant, ve others (1994) Fast Algorithms for Mining Association Rules. In Proc. 20th Int. Conf. Very Large Data Bases, VLDB Pp. 487-499.
- Albareda-Sambola, Maria, Antonio Alonso-Ayuso, Elisenda Molina, ve Clara Simón De Blas (2009) Variable Neighborhood Search for Order Batching in a Warehouse. *Asia-Pacific Journal of Operational Research* 26(5): 655-683.
- Bayraktar, Demet, Hür Bersam Bolat, Betül Merve Fakı, ve Sedef Gizem Çelikkol (2011), Depo Süreçlerinde Performans Ölçümü Ve Değerlendirmesi İçin Bir Model Önerisi. İstanbul.
- Chen, Mu-Chen, ve Hsiao-Pin Wu (2005), An Association-Based Clustering Approach to Order Batching Considering Customer Demve Patterns. *Omega* 33(4): 333-343.
- Cil, Ibrahim (2012) Consumption Universes Based Supermarket Layout through Association Rule Mining ve Multidimensional Scaling. *Expert Systems with Applications* 39(10): 8611-8625.
- Daniels, Richard L., Jeffrey L. Rummel, ve Robert Schantz (1998) A Model for Warehouse Order Picking. *European Journal of Operational Research* 105(1): 1-17.
- Gademann, AJRM, Jeroen P. Van Den Berg, ve Hassan H. Van Der Hoff (2001) An Order Batching Algorithm for Wave Picking in a Parallel-Aisle Warehouse. *IIE Transactions* 33(5): 385-398.
- Gademann, Noud, ve Steef Velde (2005) Order Batching to Minimize Total Travel Time in a Parallel-Aisle Warehouse. *IIE Transactions* 37(1): 63-75.
- Garfinkel, Maurice, Gunter Sharp, ve Joel Sokol (2003) An Optimization Approach to the Correlated Storage Assignment Problem. In *IIE Annual Conference. Proceedings P. 1. Institute of Industrial Engineers-Publisher.*
- Henn, Sebastian (2012) Algorithms for on-Line Order Batching in an Order Picking Warehouse. In *Computers & Operations Research Pp. 2549-2563. Casablanca (Morocco).*
- Henn, Sebastian, ve Gerhard Wäscher (2012) Tabu Search Heuristics for the Order Batching Problem in Manual Order Picking Systems. *European Journal of Operational Research* 222(3): 484-494.
- Hsu, Chih-Ming, Kai-Ying Chen, ve Mu-Chen Chen (2005) Batching Orders in Warehouses by Minimizing Travel Distance with Genetic Algorithms. *Computers in Industry* 56(2): 169-178.



- Karakış, İsmail (2014) Dağıtım Merkezi Depolarına İlişkin Hiyerarşik Depo Tasarım Metodolojisi ve Konvansiyonel/otomatik Depo Karar Problemine İlişkin Analitik Bir Model.
- Kır, Sena, ve Harun Reşit Yazgan (2016) A Sequence Dependent Single Machine Scheduling Problem with Fuzzy Axiomatic Design for the Penalty Costs. *Computers & Industrial Engineering* 92: 95–104.
- Le-Duc, Tho, ve Rene MBM de Koster (2007) Travel Time Estimation ve Order Batching in a 2-Block Warehouse. *European Journal of Operational Research* 176(1): 374–388.
- Ma, Tingwei, ve Peng Zhao (2014) A Review of Algorithms for Order Batching Problem in Distribution Center. In *International Conference on Logistics Engineering, Management ve Computer Science (LEMCS 2014)*, Atlantis Press.
- Şahin, Yusuf, ve Osman Kulak (2013) Genetic Algorithm Based Approaches for Planning Warehouse Operations. *International Journal of Alanya Faculty of Business* 5(3): 141–153.
- Van Nieuwenhuyse, Inneke, René de Koster, ve Jan Colpaert (2007) Order Batching in Multi-Server Pick-ve-Sort Warehouses.



