



SAP SİSTEMİNDE KARLILIK TABANLI AĞ OPTİMİZASYONU: ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE BİR DURUM ÇALIŞMASI

Eren Esgin^{1,2} , Volkan Özay¹, Görkem Özkan¹

¹ Yapay Zeka Araştırmaları, MBİS Ar-Ge Merkezi, İstanbul, Türkiye

² Enformatik Enstitüsü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye

{eren.esgin, volkan.ozay, gorkem.ozkan}@mbis.com.tr, eren.esgin@metu.edu.tr

ÖZET

Bu makalede satış, nakliye ve üretim planlama verileri ve olası kısıtlar açısından karlılığı maksimize eden talep noktası: üretim yeri cinsinden optimum ürün ikmal tayinlerini bulmak için bir Ağ Optimizasyonu çözümü önerilmiştir. Durum çalışmasında belirtildiği gibi, Ağ Optimizasyonu çözümü katkı marjını ortalama %2.35 oranında artırarak görece yüksek yatırım getirisi sağlamıştır. Önerilen çözüm SAP, optimizasyon mantığı ve Microsoft Power BI bileşenlerini kapsayan geniş bir çözüm mimarisinde yalın bir optimizasyon deneyimi sunar. Ayrıca, işletmeler bu çözüm yardımıyla manuel, zaman alıcı ve hataya açık veri hazırlama operasyonları yerine varyans analizi ve varsayımsal senaryo değerlendirmesi gibi katma değerli işlere odaklanabileceklerdir.


Anahtar Kelimeler: İş Planlaması, Tamsayılı Programlama, Karlılık Tabanlı Ağ Optimizasyonu, SAP, Varyans Analizi, Varsayımsal Senaryo Değerlendirmesi.

PROFITABILITY BASED NETWORK OPTIMIZATION AT SAP SYSTEM: A CASE STUDY IN CEMENT INDUSTRY

ABSTRACT

In this paper, a Network Optimization solution is proposed to find the optimal demand point: plant assignments at product replenishment that maximize the profitability with respect to sales, transportation and production planning data and potential constraints. As stated in the case study, Network Optimization solution has increased contribution margin by an average value of 2.35% that resulted in relatively high return-on-investment. Proposed solution ensures a lean optimization experience over a wide solution architecture that covers SAP, optimization logic and Microsoft Power BI components. Additionally, organizations will concentrate on more value adding operations such as variance analysis and what-if scenario evaluation rather than manual, time consuming and error-prone data preparation by the help of this solution.

Keywords: Business Planning, Integer Programming, Profitability Based Network Optimization, SAP, Variance Analysis, What-if Scenario Evaluation.

^a  <https://orcid.org/0000-0002-5454-4244>

1. GİRİŞ

İçinden geçtiğimiz COVID19 dönemi, iş dünyasında ortaya çıkan kavram kaymaları (concept drift) ve belirsizliklere uyum sağlanması için işletmelere Schumpeter'in yaratıcı yıkım (creative destruction) benzeri bir dönüşümü empoze etmiştir. Bu dönüşümde iş planlama çözümleri önemli bir rol oynarken, organizasyonel seviyede karşılaşılan kıt kaynaklar ve ortaya çıkan potansiyel darboğazların etkin yönetilmesi için çeşitli varsayımsal senaryolarının (what-if scenario) benzetimine olanak sağlar. Buna örnek olarak, likit sermaye, işgücü, kurulu kapasite ve insansız sürdürülebilir iş modelleri ile müşteri talep dalgalanmalarına proaktif bir şekilde yanıt verilmesi gösterilebilir.

Görünüşe göre, iş planlama çözümlerinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri, müşteri talebinin en uygun üretim yeri tarafından karşılanmasıdır. Son teknoloji ürünü olarak, ürün ikmalinde talep noktası:üretim yeri tayinlerine ilişkin süreç sahiplerinin öznel kararları çok baskın bir rol oynarken, bu tayinlerde nakliye maliyetinin minimize edilmesi amacına odaklanılmaktadır. Buna ek olarak, süreç sahipleri tarafından gerçekleştirilen manuel simülasyonlar, daha fazla efor ve zaman gerektiren veri hazırlama prosedürleri içerir. Sonuç olarak, varyans analizi ve varsayımsal senaryolarının değerlendirilmesi gibi katma değeri yüksek operasyonlara vakit ayrılamaz.

Ağ Optimizasyonu (Network Optimization) çözümü, planlanan satış hacmi, birim satış fiyatı, birim nakliye maliyeti, birim değişken ve sabit üretim maliyetine göre toplam net kar yada katkı marjı hedef değerini maksimize eden global optimum talep noktası:üretim yeri tayinlerini bulmayı amaçlar. Ek olarak, üretim yeri veya üretim yeri-ürün detay seviyelerinde planlanan üretim kapasite kısıtları ve müşteri memnuniyeti önerilen çözümün diğer ana girdileridir. Öngörülen çözüm, matematiksel modellemenin insan içgörülerıyla uyumlu hale getirilmesini amaçlarken, geleneksel nakliye maliyeti minimizasyonuna dayalı miyop bakış açısı, karlılık maksimizasyonu ve farklı seviyelerde planlanan üretim kapasitelerini dikkate alınarak bütünsel bir bakış açısı sunmaktadır. Sonuç olarak, süreç sahipleri veri hazırlamadan ziyade varyans analizi ve farklı durum senaryolarının değerlendirilmesi gibi yüksek katma değerleri prosedürlere daha fazla odaklanır. Gereksinim analizi sonucu Ağ Optimizasyonu çözümünün ortaya koyduğu kaldıraç etkisine göre hazırlanan uyum fark analizi (fit-gap analysis) Şekil 1'deki verilmiştir.

Şekil 1: Ağ Optimizasyonu için Uyum Fark Analizi.



Makale şu şekilde yapılandırılmıştır: Bölüm 2'de ağ optimizasyonu ve nakliye minimizasyonu uygulamaları ile ilgili literatür gözden geçirmektedir. Bölüm 3 çözüm mimarisi bağlamında Ağ Optimizasyonu çözümünü ve önerilen yaklaşımın ana aşamalarını açıklamaktadır. Bölüm 4'te çimento endüstrisinde gerçekleştirilen bir durum çalışması sonucu elde edilen deneysel sonuçlar tartışılmaktadır. Sonuç ve gelecek çalışmalar Bölüm 5'te özetlenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür taraması bölümünde temel olarak çeşitli imalat endüstrilerinde kar maksimizasyonu ve nakliye maliyetlerinin minimizasyonu üzerine yapılan ağ optimizasyonu uygulamaları ele alınmıştır.

Billal, Islam, Alam ve Hossain (2015), paranın zaman değerini nakliyeden kaynaklı maliyet değişimine duyarlı tedarik zinciri üzerine bir modellemede ele almaktadır. Çok aşamalı tedarik zinciri ağ tasarımı (SCND-Supply Chain Network Design) modeli, Bangladeş çimento endüstrisinde faaliyet gösteren ve bölünmüş pazarlarda müşteri talebini karşılayan bir organizasyon için tasarlanmıştır. SCND modeli temel olarak karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP-Mixed Integer Linear Programming) kullanılır. Sulisty, Herryandie ve Jonrinaldi (2019), lojistik yöneticisinin operasyonel kararlar alırken kullandığı bilgisayar simülasyonuna uygulanan matematiksel modeli derlemek için sistem modellemesini ve gerekli parametreleri açıklamaktadır. Dikos ve Spyropoulou (2013), tedarik zinciri ve planlama için matematiksel programlama kullanan bir platform önermiştir. Platformun temelinde, tedarik zinciri operasyonlarını modellemek için bir dizi iç içe matematiksel program kullanılır. Bu platform, hem talep hem de üretimdeki dalgalanmalara karşı en uygun operasyonel çözümü bulur ve durum senaryosu değerlendirmesi bağlamında orta ve uzun vadeli planlamayı gerçekleştirir. Das, Adnan, Hassan ve Rahman (2017), Microsoft Excel uygulamasında geliştirilen maliyet optimizasyonlu bir çözücü ile lojistik maliyet ve optimizasyon tekniklerini anlamayı amaçlamaktadır. Optimizasyon araç ve tekniklerini kullanmanın bir sonucu olarak, organizasyonun maliyet faktörlerini doğru tespit edip, bu faktörlerin kullanılması sonucu toplam lojistik maliyetlerini azaltabileceği kıyaslanabilir bir şekilde gösterilmektedir. Chukwuma ve Chukwuma (2015), doğrusal programlama kullanarak kapasite planlama ve terminleme için bir model tasarlar. Bu model, çimento üreticileri için nakliye maliyetlerini en aza indiren en verimli rotayı önermektedir.

Togo (2005), doğrusal programlamanın (LP-Linear Programming) operasyon yönetimi tekniği, karı maksimize etmek ve maliyeti minimize etmek için bir Excel eklentisi olarak maliyet muhasebesi bilgi sistemine entegre edilmiştir. Vidal ve Goetschalckx (2001), çok uluslu bir şirketin vergi sonrası karlarını maksimize eden küresel bir tedarik zinciri optimizasyon modeli tanıtmıştır. Bu araştırma nakliye maliyeti ve envanter maliyetinin uluslararası nakliye türünün seçimi üzerindeki etkisini eşzamanlı olarak değerlendirilmesine yardımcı olur. Oladejo, Abolarinwa, Salawu ve Lukman (2019), doğrusal programlama kullanarak karı maksimize etmek ve maliyetleri düşürmek için inceleme yapmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, çalışmanın temelini oluşturan matematiksel model, karı maksimize etmek için hangi ürünlerin üretilmesi ve satılması gerektiğini günlük olarak önerir. Vimal, Rajak ve Kandasamy (2019), toplam geliri maksimize etmek ve kirliliği minimize etmek amacıyla çok ürünli bir döngüsel tedarik zincirini matematiksel bir model ile değerlendirmektedir. Matematiksel modelin geliştirilme sırasında hem geri dönüşümü sağlanan ürünlerin hem de üretilmiş ürünlerin satışından elde edilen karlar, geri dönüşüm birimlerinden elde edilen karlar, kurulum ile onarım maliyetleri ve birimler arasında yer alan nakliye maliyetleri dikkate alınmıştır.

Samani ve Mottaghi (2006), tek bir yükleme noktası koşulu ile minimum maliyetli belediye su dağıtım şebekelerinin en uygun tasarımı için tamsayılı doğrusal programlama tekniğini kullanmaktadır. Kostin vd. (2018), Brezilya biyoetanol tedarik zincirlerini planlamak ve optimize etmek için karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP) formülasyonu ile matematiksel bir yaklaşım sunar. Bu yaklaşım, Brezilya'daki şeker ve biyoetanol endüstrisinin tüm tedarik zincirinin net bugünkü değerini en üst düzeye çıkarmayı amaçlar. Ayrıca bir biyoetanol ağının en uygun konfigürasyonu için seçilen teknolojiyi ve ilgili son ürünlerin akışlarını önerir.

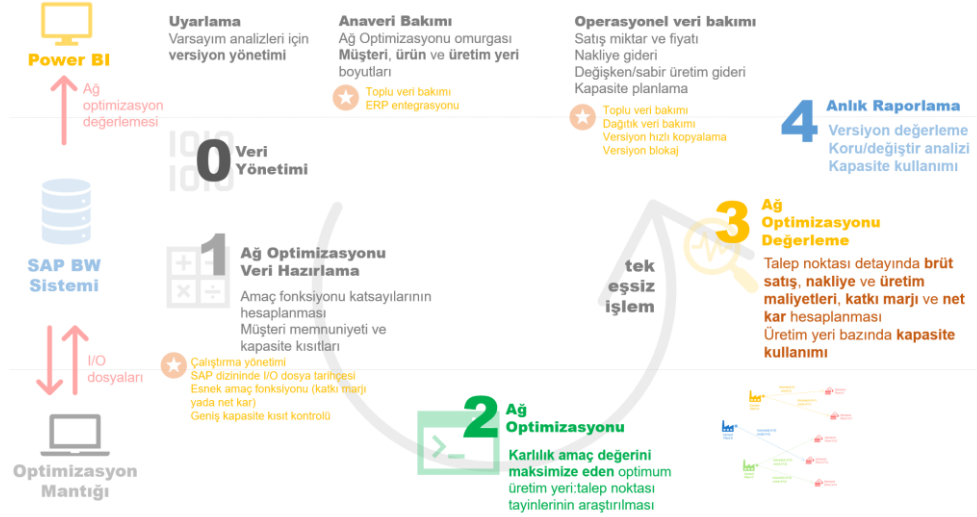
3. YÖNTEM

Ağ Optimizasyonu çözüm mimarisi Şekil 2'de belirtildiği gibi üç katmandan oluşur: SAP BW sistemi, optimizasyon mantığı ve Microsoft Power BI. SAP BW sistemi, Ağ Optimizasyonu çözümünün temel bileşenidir. Veri yönetimi, ağ optimizasyonu veri ön işleme, optimizasyon değerlendirme ve anlık raporlama gibi ana kullanım durumları bu katmanda yürütülür. İlgili bileşen ve işlemler ABAP programlama dilinde geliştirilmiştir.

Optimizasyon mantığı katmanı, ağ optimizasyonu matematiksel modelini kapsar. Bu model, katkı marjı, net kar gibi amaç fonksiyonlarını maksimize eden optimum talep noktası: üretim yeri atamalarını yapmayı amaçlamaktadır. İlgili tamsayılı programlama (IP) tabanlı matematiksel model, R programlama dilinde geliştirilmiştir. Çoğunlukla lpSolve ve dplyr paketleri uygulanmaktadır.

Son olarak, Power BI yakınlaştırma/uzaklaştırma (zoom in/out) işlevleriyle gelir tablosu, ürün veya müşteri tabanlı karlılık analizi raporları gibi çeşitli dijital panoları (dashboard) gösteren sunum katmanıdır. Bu panolardaki gösterge değerleri, SAP BW sisteminde tutulan ağ optimizasyonu değerlendirme görünümüne dayanmaktadır. Önerilen çözüm mimarisi Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2: Önerilen Çözüm Mimarisi. İlgili planlama aşamalarındaki süreç iyileştirmeleri sarı yıldızlarla gösterilir.



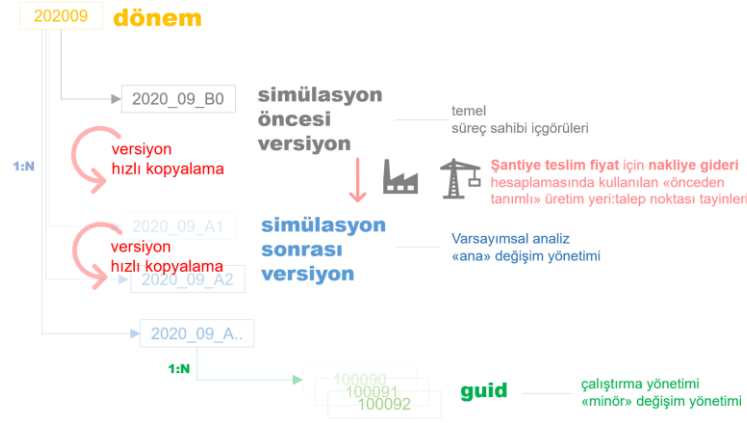
Ağ Optimizasyonu çözümü üç ana aşamadan oluşur: veri yönetimi, optimizasyon ve anlık raporlama. Bu aşamalar aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

3.1. Veri Yönetimi

Veri yönetimi aşamasında, optimizasyon için gerekli girdi verileri, uyarılama, ana ve planlama verileri olmak üzere üç farklı şekilde yönetilir. Ağ Optimizasyonu çözümü, satış hacmi, satış fiyatı, nakliye maliyeti ve uygulanabilirliği, üretim maliyeti ve uygulanabilirliği ve son olarak kapasite kısıtlamaları gibi üretim verilerinde farklı potansiyel durumlar veya varyantların yönetimini ayarlayan varsayımsal paradigmalara dayanmaktadır. Bu nedenle etkin versiyon yönetimi için uyarılama verileri kullanılır. Versiyon yönetimi bağlamında, simülasyon öncesi ve sonrası varyans analizlerinin karşılaştırmasını yapmak mümkündür. Şöyle ki, simülasyon öncesi (before-simulation) tipindeki versiyonlarda, süreç sahiplerinin talep noktası: üretim yeri atamaları hakkındaki içgörülerini yönetilirken, simülasyon sonrası (after-simulation) tipindeki versiyonlar ise, yürütülen ağ optimizasyonu kapsamında elde edilen global optimum tayinler sonuçlarını yansıtır. Bu iki versiyon türü arasındaki ilişki, simülasyon öncesi versiyonda önerilen talep noktası: üretim yeri atamalarının, satış fiyatı dönüşümlerinde birim nakliye maliyetlerinin belirlenmesi için temel olarak kullanılmasıyla açıklanabilir.

Ağ Optimizasyonu çözümünün geliştirilmiş hali olarak versiyon uyarılama adımı amaç fonksiyonu tipi özelliği bulunmaktadır. Bu özellik, katkı marjı (contribution margin) veya net kar (net profit) maksimizasyonu gibi ağ optimizasyonunda uygulanan amaç fonksiyonunu belirlemek için kullanılır. Versiyon tipleri arasındaki ayrımlar ve ilişkiler Şekil 3'te verilmiştir.

Şekil 3: Versiyon Tipleri Arasındaki Ayrım ve İlişkiler.



Ana veri, önerilen çözümün bel kemiğini oluşturan müşteri, ürün ve üretim yeri ana planlama boyutlarını içerir. Bu boyutların ilgili veri yönetimi kullanıcı arayüzleri üzerinden kullanıcı tarafından bakımı yapılabilirken, toplu ana veri aktarımı ve mevcut boyut elemanlarının SAP ERP sisteminden devralınması da mümkündür. Bu açıdan, bu alternatif toplu veri bakım arayüzleri, görece daha dinamik olan müşteri boyutunu güncel tutmak için daha etkili olduğu söylenebilir. Planlama boyutları ile ilgili detaylar aşağıdaki gibidir:

- Müşteri boyutu, isim, bölge, şehir, şehir bölgesi ve mikro pazar gibi geçerli müşterilerin temel özelliklerini taşır.
- Ürün boyutu, isim, ürün tipi ve segment özelliklerini içerir.
- Üretim yeri boyutu, adı ve aktif üretim yeri göstergesi özelliklerini içerir.

Planlama verileri, ilgili versiyon için varsayımsal senaryolar arasındaki farklılığı yansıtır. Bu koşullar, satış (örn. satış hacmi ve fiyatı), nakliye ve üretim (örn. değişken veya sabit üretim maliyetleri, üretim yeri veya üretim yeri-ürün detay seviyelerindeki kapasite kısıtlamaları) fonksiyonel alanları ile belirlenebilir. Planlama veri yönetimi ile ilgili ayrıntılar aşağıda verilmiştir:

- Satış hacmi (*vol*) ve fiyat (*prc*) planlama adımlarında, Denklem 1 ve 2'de verilen geçerli müşteri (STP) ve ürün (PRD) boyutlarının kombinasyonlarından oluşan potansiyel talep noktası (*dp*) olarak somutlaştırılır.
- Satış planlama adımındaki simülasyon göstergesine (simulated/preset) göre, talep noktasının ağ optimizasyonu dahil edilip edilmeyeceğine veya simülasyon öncesi versiyonda öngörülen üretim yerine tayin edilip edilmeyeceğine karar verilir. Ayrıca satış süreç sahibi, fabrika çıkış fiyatlarını (exwork price) ilgili döneme ait simülasyon öncesi versiyondan devralınan birim taşıma maliyetine ve satış sözleşme belgesinde belirlenen teslim edilen satış fiyatına (delivered price) göre planlar.
- Nakliye maliyeti (*trs*) planlama adımında, Denklem 3'te verildiği gibi, müşteri (*dpi.stp*), ürün tipi (*dpi.prd_typ*) ve üretim yeri (*plt*) bazında tahmini birim nakliye maliyeti planlanır. Azami mesafe eşliğini (yaklaşık 400 kilometre) aşan kombinasyonlarda, birim nakliye maliyeti manuel olarak büyük M değeri verilir, örn. ton başına bir milyon ₺.
- Değişken üretim maliyeti (*vpc*) planlama adımı, Denklem 4'te verilen ürün (*dpi.prd*) ve üretim yeri (*plt*) bazında tahmini değişken üretim maliyetini tutar. Bu değişken maliyet bileşeni, ürün ağacına göre hesaplanan direkt malzeme maliyeti gibi üretim hacmiyle doğrudan ilişkili olan üretim maliyetlerini yansıtır. İmkansız üretim durumunda, birim değişken üretim maliyeti manuel olarak büyük M değeri verilir.
- Sabit üretim maliyeti (*fpc*) planlama adımı, Denklem 5'te verilen üretim yeri (*plt*) bazında tahmini sabit üretim maliyetini içerir. Bu sabit maliyet bileşeni, üretim rotasına göre hesaplanan amortisman ve direkt işçilik maliyeti gibi kurulu kapasiteyle ilişkili olan ve üretim hacminden etkilenmeyen üretim maliyeti faktörlerini yansıtır.

3.2. Optimizasyon

Optimizasyon aşaması, Şekil 2 ve 4'te gösterildiği gibi ağ optimizasyonu veri ön işleme, optimizasyon ve değerlendirme olmak üzere üç adımdan oluşur. Ağ optimizasyonu veri ön işleminde, tüm talep noktası:üretim yeri kombinasyonları için amaç fonksiyonu katsayıları ($coef_{dpi,plti}$), müşteri memnuniyeti ve kapasite kısıtları olmak üzere üç farklı girdi veri kümesi ilgili versiyon için uyarlama, ana ve planlama verileri kullanılarak üretilir.

İlgili versiyon için katkı marjı maksimizasyonu amaç fonksiyonu tercihi edildiğinde, amaç fonksiyon katsayısı (Denklem 3 ve 4'te yer alan $coef_{dpi,plti}$), her bir talep noktası (dp):üretim yeri (pl) kombinasyonu için brüt satışların (Denklem 2), nakliye maliyetinin (Denklem 3) ve değişken üretim maliyetinin (Denklem 4) toplamını ifade eder. Net kar maksimizasyonu amaç fonksiyonu tercih edilmesi durumunda, Denklem 5'te verilen amaç fonksiyonu hesaplamasında sabit üretim maliyeti de dikkate alınır. Temel amaç fonksiyonu katsayısı hesaplama adımları Denklem 2-5'te verilmiştir:

$$DP = STP \times PRD \quad (1)$$

$$gr_sl_{dpi} = vol_{dpi} \times prc_{dpi} \quad (2)$$

$$coef_{dpi,plti} = gr_sl_{dpi} - vol_{dpi} \times trs_{dpi,stp,dpi,prd,typ,plti} \quad (3)$$

$$coef_{dpi,plti} = coef_{dpi,plti} - vol_{dpi} \times vpc_{dpi,prd,plti} \quad (4)$$

$$coef_{dpi,plti} = coef_{dpi,plti} - vol_{dpi} \times fpc_{plti} \quad (5)$$

Müşteri memnuniyeti kısıtı, simülasyon uygulanacak talep noktaları için planlanan satış hacimlerini tutar. Başka bir deyişle, ilgili kısıtta önceden üretim yerlerine tayin edilmiş (preset) talep noktaları atlanır. Bu kısıta ait satır ögesi ilgili talep noktasının ilişkilendirildiği müşteri, ürün, ürün tipi ve segment gibi ek öznitelikler de içerir. Temel kural olarak, toplam talep noktası hacmi tek bir üretim yeri tarafından doldurulmalıdır. Temel satış hacmi birden fazla üretim yerine dağıtılamadığından, Ağ Optimizasyonu çözümü *tamsayı programlama* (IP) ile karakterize edilen bir matematiksel modele dönüşür. Kapasite kısıtlamaları ise, üretim yerlerinin üretim kıt kaynak planlama mantığını yansıtır. Bu kısıtlar dört farklı ayrıntı düzeyinde belirlenebilir: üretim yeri, ürün tipi ve üretim yeri, ürün segmenti ve üretim yeri ve son olarak Bölüm 3.1'de vurgulanan kapasite planlama adımları yoluyla ürün ve üretim yeri düzeyi. Ayrıca, önceden tayin edilen (preset) talep noktalarının satış hacimleri, ağ optimizasyonu çalıştırılmadan önce ilgili kapasite rakamlarından çıkarılır.

Optimizasyon adımında, kar maksimizasyonunu sağlamak ve altta yatan tayin problemini çözmek için doğrusal programlama algoritması uygulanır. Bu algoritma, simüle edilecek tüm talep noktası:üretim yeri kombinasyonlarını aday çözümler olarak alır ve üretim kapasitesini ve talep tatmin kısıtlamalarını hesaba katar. Veri ön işleme adımından sonra, temel sürüm için SAP BW sistem katmanında hesaplanan giriş verileri, Şekil 2 ve 4'te gösterildiği gibi optimizasyon mantık katmanına aktarılır. Optimizasyon adımı, toplam amaç fonksiyonu değerini, yani katkı marjı yada net karı maksimize etmeyi amaçlar. Bu açıdan, talep noktası dpi 'nin üretim yeri $plti$ 'ye tayin edilmesi, dpi talep noktası için müşteri memnuniyetini ve Ağ Optimizasyonu veri ön işleme adımında hesaplanan $dpi:plti$ tayini ile elde edilecek birim marj kazanç kadar amaç fonksiyon değerinde yerel bir artışı ifade eder. Ayrıca, talep noktası dpi ve üretim yeri $plti$ ile ilgili kapasite rakamlarının bir kısmı bu talep tatmininden dolayı tüketilmektedir.

Teknik açıdan, lpSolve R paketi, problemimizin matematiksel olarak ifade edilmesi gereken hedefi olan amaç fonksiyon vektörü ve yukarıda verilen kısıtlamaları dikkate almak ve bunları tamamen doğru bir şekilde karşılamak için bir kısıtlama matrisi gibi uygun şekilde çalışması için birkaç girdi argümanına sahiptir. Kısıtlama matrisi iki bölümden oluşur: her bir benzetime yapılacak talep noktası için belirlenen müşteri memnuniyeti kısıtlaması ve herhangi bir detay seviyesinde planlanan kapasite kısıtlamaları. Son olarak, her kısıt için limitleri matematiksel bir şekilde ifade edecek bir işlem vektörümüz olacaktır; örneğin $=$ veya \leq vb. ve eşik değerlerini tutan sağ taraf (RHS) vektörü olarak kabul edilebilecek kısıt üst limiti. Kısıt tanımlamaları yapıldıktan sonra, optimizasyon fonksiyonu LP, giriş amaç fonksiyonu katsayılarına ve kısıtlarına göre en uygun sonuçları elde etmek için lpSolve fonksiyonlarını kullanmaya hazırdır. Matematiksel model global optimum çözüm vektörünü döndürdüğünde, talep noktası:üretim yeri optimal atamalarını iki boyutlu bir matrisle dönüştürülüp, 0 değerli öğeleri göz ardı ederek 1 değerli atamaları elde etmek için bu matriste dönülür.

Son olarak, bu atamalar Şekil 2'de gösterildiği gibi ağ optimizasyonu değerlendirme adımı için SAP BW sistem katmanına aktarılır. Ek olarak amaç fonksiyon katsayıları, müşteri memnuniyeti ve kapasite kısıtları gibi temel girdi verileri ve optimum çözüm SAP dosya dizininde yerel dosya olarak kaydedilir.

Geliştirilen matematiksel model aşağıda Algoritma 1 olarak verilmiştir. Satır 1, amaç fonksiyonunu (objective function) temsil eder; şöyle ki, ikili mantıksal değişken $i_{dpi,pltj}$, temel atomik (1/0) $dpi:pltj$ tayin kararını tutar ve değişken $coef_{dpi,pltj}$, ağ optimizasyonu ön işleme adımında hesaplanan *birim* katkı marjı veya net kar katsayısıdır. Bu katsayıların değeri, temel alınan versiyonun amaç fonksiyon tipi tercihinine göre belirlenir. Satır 2 ve 5 arası ise üretim yeri, talep noktası ürün tipi ($dpi.prd_typ$), ürün segmenti ($dpi.prd_seg$) veya ürün kodu ($dpi.prd$) detay seviyelerinde belirlenen kapasite kısıtlamalarını temsil eder. Satır 6 ise simüle edilmiş her bir talep noktası için belirlenen müşteri memnuniyeti kısıtını tutar. Son satır, temel matematiksel modelin tamsayı programlama (IP) özelliğini temsil eder.

Algoritma 1: Tam Sayı Programlama Karakteristikli Ağ Optimizasyonu Modeli

$$\begin{aligned}
 & MAX \sum_{dpi} \sum_{pltj} i_{dpi,pltj} \\
 & \times i_{dpi,pltj} \\
 & \text{subject to:} \\
 & \sum_{dpi} vol_{dpi} \\
 & \times i_{dpi,pltj} \\
 & \leq cpcty_{pltj} f \\
 & \in PLT \\
 & \sum_{dpi} vol_{dpi} \\
 & \times i_{dpi,pltj} \\
 & \leq cpcty_{pltj,pr} \\
 & = prd_typk \\
 & \sum_{dpi} vol_{dpi} \\
 & \times i_{dpi,pltj} \\
 & \leq cpcty_{pltj,pr} \\
 & = prd_segk \\
 & \sum_{dpi} vol_{dpi} \\
 & \times i_{dpi,pltj} \\
 & \leq cpcty_{pltj,pr} \\
 & = prdk \\
 & \sum_{pltj} i_{dpi,pltj} \\
 & = 1 \text{ for } \forall dpi \\
 & \in DP \\
 & i_{dpi,pltj} \\
 & \in \{0, 1\}
 \end{aligned}$$

Optimal talep noktası: üretim yeri tayin çözümü elde edildikten sonra, değerlendirme adımı Denklem 2 ve 5 arası aracılığıyla her bir talep noktası için brüt satış, nakliye maliyeti, sabit ve değişken üretim maliyeti, katkı marjı ve net kar değerlerini hesaplar. Müşteri, üretim yeri ve ürün gibi planlama boyutları ve şehir, şehir ilçe, ürün grubu gibi bu planlama boyutlarının özniteliklerine göre, yakınlaştırma/uzaklaştırma işlevi ile ağ optimizasyonu değerlendirmesini analiz etmek mümkündür. Bu raporlar, Ağ Optimizasyonu çözümünde versiyon ve GUID (Şekil 3'te gösterildiği gibi her bir benzersiz çalışma tanımlayıcısı) tarafından takip edilir. Süreç sahibi, koru/değiştir (keep/change) varyans analizi ile farklı versiyonlara ait ağ optimizasyonu sonuçlarını karşılaştırabilir. Son olarak, optimum ağ optimizasyon çalışmasının değerlendirme rakamları, Şekil 2'de gösterildiği gibi anlık raporlama aşamasına yada Microsoft Power BI katmanına aktarılır. Optimizasyon aşamasına ait veri ön işleme, optimizasyon ve değerlendirme adımları Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 4: Optimizasyon Aşaması Genel Görünümü.



3.3. Anlık Raporlama

Anlık raporlama aşaması, her bir simülasyon öncesi veya sonrası versiyon için değerlendirme rakamlarını analiz etmek, karşılık gelen varsayımsal senaryoları arasında koru/değiştir varyans analizi yapmak ve farklı üretim yeri ve ürün detay seviyelerinde kapasite tüketimlerini izlemek için çeşitli raporlama işlemlerini kapsar.

4. DENEY SONUÇLARI VE BULGULAR

Canlı kullanım kapsamında, çimento sektöründe faaliyet gösteren SAP müşterilerimizden birinde Ağ Optimizasyonu çözümü uygulanmıştır. İlgili işletme, Türkiye'nin İç Anadolu bölgesinde bulunan altı çimento fabrikasına sahip olup, Ankara, Karadeniz, Orta ve Doğu Anadolu bölgelerine yayılmış yaklaşık 500 şantiyeye torbalı veya dökme tip çimento ürünlerini ikmal etmektedir. Güncel ürün portföyü 11 ürün grubundan oluşmaktadır.

DeneySEL analiz kapsamında nispeten satışların yoğun olduğu ve kaynak darboğazlarının sıklıkla karşılaşıldığı dönemlere, sırasıyla Temmuz 2021 ve Ağustos 2021'e odaklanılmıştır. Bu dönemler, ortalama 350 talep noktası ve Bölüm 3.2'de belirtildiği gibi farklı üretim yeri ve ürün detay seviyelerinde belirlenmiş 15 aktif kapasite kısıtını içermektedir. Varsayımsal senaryo değerlendirmesi amacıyla, simülasyon öncesi sonuçların izlendiği yyyy_mm_B0 notasyonlu iki versiyon, simülasyon sonrası katkı marjını maksimize eden yyyy_mm_A1 notasyonlu iki versiyon ve net karı maksimize eden yyyy_mm_A2 notasyonlu iki versiyon olmak üzere toplam altı farklı planlama senaryosu

tanımlanmıştır. Deneysel sonuçlar iki farklı başlıkta değerlendirilebilir: simülasyon öncesi-sonrası ve koru/değiştir varyans analizleri.

4.1. Simülasyon Öncesi-Sonrası (Simulation Before vs. After) Varyans Analizi

Katkı marjı maksimizasyonu hedef tercihinine göre, Ağ Optimizasyonu çözümü Tablo 1'de gösterildiği gibi, hedef değerde ortalama %2.35'lük yeterli bir artış elde edilmiştir. Her ne kadar bu iyileşme nakliye maliyetindeki yaklaşık %1.4'lük artış ile gölgelense de, maliyet tahakkukunun büyük bölümünü oluşturan değişken üretim maliyet kalemindeki ortalama %1.88'lik düşüş toplam katkı majında ciddi bir iyileşmeye sebep olmuştur (toplam katkı marjı 6580.99K ₺'den 6735.74K ₺'ye yükselmiştir).

Tablo 1a. Simülasyon Öncesi-Sonrası Varyans Analizi (katkı marjı maksimizasyonuna göre).

Versiyon	Brüt Ciro	Nakliyet Gideri	Değişken Üretim Maliyeti	Katkı Payı
2021_07_B0	8144,00	884,70	4475,51	2783,79
2021_07_A1	8144,00	896,27	4378,51	2869,22
2021_08_B0	10000,00	1036,05	5166,75	3797,19
2021_08_A1	10000,00	1051,33	5082,15	3866,52
simülasyon öncesi toplam	18144,00	1920,76	9642,26	6580,99
simülasyon sonrası toplam	18144,00	1947,61	9460,66	6735,74

not: Tüm değerler Ağustos 2021 dönemi brüt ciroya göre normalleştirilmiştir.

Tablo 1b. Dönemsel Nominal Varyans Analizi (katkı marjı maksimizasyonuna göre).

Dönem	Brüt Ciro	Nakliyet Gideri	Değişken Üretim Maliyeti	Katkı Payı
2021.07	0,00%	1,31%	-2,17%	3,07%
2021.08	0,00%	1,47%	-1,64%	1,83%
Ortalama	0,00%	1,40%	-1,88%	2,35%

Benzer şekilde, net kâr maksimize edilmiş ağ optimizasyonunda, Tablo 2'de gösterildiği gibi, hedef değer ortalama %2.98 oranında artmaktadır. Sabit üretim maliyetinde %0.43'lük bir artış olmasına rağmen, bu eğilim nakliye ve sabit üretim maliyetlerindeki sırasıyla %1.04 ve %1.21'lük iyileşmeyle sönümlenmiştir (toplam net kar 4239.35K ₺'den 4365.66 K ₺'ye yükselmiştir).

Tablo 2a. Simülasyon Öncesi-Sonrası Varyans Analizi (net kar maksimizasyonuna göre).

Versiyon	Brüt Ciro	Nakliyet Gideri	Değişken Üretim Maliyeti	Sabit Üretim Maliyeti	Net Kar
2021_07_B0	8144,00	884,70	4475,51	1389,90	1393,89
2021_07_A2	8144,00	873,89	4413,85	1360,39	1495,87
2021_08_B0	10000,00	1036,05	5166,75	951,74	2845,45
2021_08_A2	10000,00	1026,89	5112,06	991,25	2869,80
simülasyon öncesi toplam	18144,00	1920,76	9642,26	2341,64	4239,35
simülasyon sonrası toplam	18144,00	1900,78	9525,92	2351,65	4365,66

not: Tüm değerler Ağustos 2021 dönemi brüt ciroya göre normalleştirilmiştir.

Tablo 2b. Dönemsel Nominal Varyans Analizi (net kar maksimizasyonuna göre).

Dönem	Brüt Ciro	Nakliyet Gideri	Değişken Üretim Maliyeti	Sabit Üretim Maliyeti	Net Kar
2021.07	0,00%	-1,22%	-1,38%	-2,12%	7,32%
2021.08	0,00%	-0,88%	-1,06%	4,15%	0,86%
Ortalama	0,00%	-1,04%	-1,21%	0,43%	2,98%

Her iki durum senaryosunda da vurgulanan mekanizma şu gerçeğe dayanmaktadır: simülasyon öncesi versiyonlardaki hakim insan içgörülerini miyop bir şekilde nakliye giderinin minimizasyonuna dayalı olmasına rağmen, Ağ Optimizasyonu çözümü hem nakliye hem de üretim maliyeti faktörlerini karlılık hesaplamalarında dikkate alarak bütünsel bir bakış açısı sağlamaktadır. Toplam (sabit ve değişken) üretim maliyetleri görece toplam nakliye maliyetinin yaklaşık 6.2 katıdır. Bu nedenle, ağ optimizasyonu, yüksek teknolojili üretim hatlarına sahip, coğrafi olarak uzak fakat hala uygulanabilir üretim yerlerini talep noktalarına tayin etme eğilimindedir. Bu yüksek teknoloji kavramı, daha düşük

amortisman maliyetleri, daha kısa standart üretim çevrim süreleri ve daha yüksek kapasite kullanım oranlarına sahip makina parkurları anlamına gelir.

4.2. Kuru/Değiştir (Keep/Change) Varyans Analizi

Bölüm 3.2'de belirtildiği gibi, Ağ Optimizasyonu çözümü uyarlanabilir amaç fonksiyonu özelliğine sahiptir. Bu nedenle, katkı marjı veya net kar amaç fonksiyonu tercihinin etkisiyle değişen talep noktası: üretim yeri tayinlerine odaklanan kuru/değiştir (keep/change) varyans analizi uygulamak mümkündür. Bu açıdan, Şekil 5'te gösterildiği gibi Ağustos 2021 döneminde talep noktası: üretim yeri tayinlerinde ilginç değişim noktaları gözlemlenmiştir. 2021_08_A1 versiyonunda CC03 üretim yerine tayin edilen 15 talep noktası coğrafi olarak görece yakın, fakat ürün ağacına bağımlı değişken üretim maliyetinin yüksek olduğu CC02 ve YC01 üretim yerlerine geçiş yapmıştır. Bu değişikliğe göre nakliye maliyetindeki 188.5K ₺ iyileşme değişken üretim maliyetlerindeki 233.6K ₺ fırsat maliyetine sebep olup katkı marjında yaklaşık 45.1K ₺ kayıp oluşmuştur.

Diğer yandan, 2020_08_A2 versiyonunda net karı maksimize eden amaç fonksiyonu tercihi, değişken ve sabit üretim maliyeti faktörleri arasında potansiyel olarak ortaya çıkabilecek denge ve ödünleşimleri (trade-off) öngörebilir. Bir başka deyişle; 45.1K ₺ katkı marjı kaybı sabit üretim gider bileşenlerindeki tasarrufla net karda 107.7K ₺ kazanca dönüşür. Bu dönüşümünün temel sebebi, CC02 ve YC01 üretim yerlerinde görece düşük üretim atıl kapasitesine bağlı düşük batık giderlerdir (sunk cost). Bir başka deyişle; daha düşük amortisman maliyeti, daha kısa standart üretim çevrim süreleri ve daha yüksek kapasite kullanım oranı nedeniyle, ürün ağacına bağlı değişken üretim maliyetlerinde oluşan kayıpların karşılanmasıdır.

Fonksiyonel olmayan iş gereksinimi açısından ise, Microsoft Excel çözücüsünde süreç sahipleri tarafından gerçekleştirilen zaman alıcı ve hatalı manuel simülasyonlar ortadan kaldırmıştır. Canlı geçiş sonucu toplam işlem süresi 16 saatten 2 saate %87.5 oranında düşürülmüştür.

Şekil 5: 2021 Ağustos Dönemi için Kuru Değiştir Varyans Analizi.

Dem Point	SP	Region	City	Distr	City	Cust.Sgmt	Product	Name	Prod Type	KC	Plant	Plant	Dt: Gross	Dt: Trans Cost	Dt: Vr Prd Cost	Dt: Contr Marg	Unit Contr	Dt: Fx Prd Cost	Dt: Net Prft	Net Profit	
113	110001491	BLS	05004	5	RO		C1_425_BL	CEM I 42,5 Bulk	BL	CHNG	CC03	CC02	0,00	27.522,00-	31.696,00	4.176,00-	2,32-	34.380,00-	30.204,00	16,78	
160	110001816	CAN	50004	50	DO		325_8650	CEM II/IV 32,5 R Bag (50 Kg)	BG	CHNG	CC02	CC02	0,00	392,00	4.216,00	4.608,00-	11,52-	7.640,00-	3.032,00	7,58	
162	110001817	CAN	50004	50	DO		325_8650	CEM II/IV 32,5 R Bag (50 Kg)	BG	CHNG	CC02	CC02	0,00	294,00	3.162,00	3.456,00-	11,52-	5.730,00-	2.274,00	7,58	
165	110001821	CAN	50005	50	DO		325_8650	CEM II/IV 32,5 R Bag (50 Kg)	BG	CHNG	CC02	CC02	0,00	53,90	579,70	633,60-	11,52-	1.050,50-	416,90	7,58	
166	110001822	CAN	50004	50	DO		325_8650	CEM II/IV 32,5 R Bag (50 Kg)	BG	CHNG	CC02	CC02	0,00	196,00	2.108,00	2.304,00-	11,52-	3.820,00-	1.516,00	7,58	
207	110001969	BLS	19004	19	DO		325_8625	CEM II/IV 32,5 R Bag (25 Kg)	BG	CHNG	CC02	CC02	0,00	531,00	2.137,50	2.668,50-	17,79-	2.865,00-	196,50	1,31	
245	110002213	BLS	19004	19	DO		325_8650	CEM II/IV 32,5 R Bag (50 Kg)	BG	CHNG	CC02	CC02	0,00	994,50-	1.581,00	586,50-	3,91-	2.865,00-	2.278,50	15,19	
27	110000339	BLS	05004	5	RO		C1_425_BL	CEM I 42,5 Bulk	BL	CHNG	CC02	CC02	0,00	30.580,00-	35.220,00	4.640,00-	2,32-	38.200,00-	33.560,00	16,78	
289	210000185	ANK	40001	40	IO		C2_425_BL	CEM II 42,5 R Bulk	BL	CHNG	YC01	YC01	0,00	32.040,00-	34.440,00	2.400,00-	1,60-	12.300,00-	9.900,00	6,60	
297	210000233	BLS	19004	19	IO		C1_425_BL	CEM I 42,5 Bulk	BL	CHNG	YC01	YC01	0,00	1.212,80-	1.500,00	287,20-	3,59-	656,00-	368,80	4,61	
303	210000246	CAN	50003	50	RO		C2_425_BL	CEM II 42,5 R Bulk	BL	CHNG	YC01	YC01	0,00	25.716,00-	27.552,00	1.836,00-	1,53-	9.840,00-	8.004,00	6,67	
304	210000247	CAN	50003	50	RO		C2_425_BL	CEM II 42,5 R Bulk	BL	CHNG	YC01	YC01	0,00	51.525,00-	57.400,00	5.875,00-	2,35-	20.500,00-	14.625,00	5,85	
307	210000252	CAN	68001	68	RO		C2_425_BL	CEM II 42,5 R Bulk	BL	CHNG	YC01	YC01	0,00	5.309,50-	8.036,00	2.726,50-	7,79-	2.870,00-	143,50	0,41	
48	110000916	CAN	50004	50	DO		325_8650	CEM II/IV 32,5 R Bag (50 Kg)	BG	CHNG	CC02	CC02	0,00	98,00	1.054,00	1.152,00-	11,52-	1.910,00-	758,00	7,58	
65	110001168	CAN	68001	68	RO		C2_425_BL	CEM II 42,5 R Bulk	BL	CHNG	YC01	YC01	0,00	15.170,00-	22.960,00	7.790,00-	7,79-	8.200,00-	410,00	0,41	
													CC03	0,00	188.504,90-	233.644,20	45.139,30-	108,59-	152.826,50-	107.687,20	112,51
													YC01	0,00	5.225,00	9.375,00-	4.150,00	8,30	4.100,00	50,00	0,10
													YC01	0,00	5.225,00	9.375,00-	4.150,00	8,30	4.100,00	50,00	0,10
														0,00	183.279,90-	224.269,20	40.989,30-	100,29-	148.726,50-	107.737,20	112,61

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu makalede SAP sisteminde canlı kullanıma alınan Ağ Optimizasyonu çözümünü anlatılmaktadır. Önerilen çözüm mimarisi, SAP sistemi, optimizasyon mantığı ve Microsoft Power BI katmanlarını kapsayan geniş bir ortam üzerinde sorunsuz bir ağ optimizasyonu deneyimi sunmayı amaçlamaktadır. Buna uygun olarak, temeldeki çözüm paradigması, katkı marjı yada net kar açısından karlılığı maksimize eden global optimum talep noktası: üretim yeri tayinlerini bulmayı amaçlarken, satış, nakliye ve üretim planlama verileri ve ilgili kapasite kullanımı, müşteri memnuniyeti kısıt girdileri de dikkate alınmıştır.

Mevcut (as-is) durumda, süreç sahibinin yıllara bağlı edindiği sezgiler ürün tedarikinde ana belirleyicidir. Nakliyenin minimize edilmesine odaklanan miyop bir bakış açısıyla yürütülen talep

noktası: üretim yeri tayini iş senaryosunun Microsoft Excel Solver üzerinde manuel simülasyonlarla çözülmesi, zaman alıcı ve hataya açık bir prosedürdür. Ayrıca, süreç sahiplerinin katma değer sunan operasyonlara daha az efor ve zaman harcanmasına da sebep olur. Bu durumun aksine, Ağ Optimizasyonu çözümü, matematiksel modellemenin kaldıraç etkisi ile kar maksimizasyonuna yönelik bütünsel bir bakış açısı sunar. Bu nedenle süreç sahipleri, farklı bakış açıları ve iç görüler sunan varyans analizi ve varsayımsal senaryolarının değerlendirilmesine odaklanabilir. Ayrıca, versiyon yönetiminde uyarlanabilir amaç fonksiyonu kullanımı etkin koru/değiştir varyans analizlerine imkan sağlar. Bu analizler yardımıyla farklı varsayımsal senaryolar arasında nakliye ve üretim gider kalemlerinin sebep olabileceği geçişmeler önsel olarak kestirilebilir. Deney sonuçlarına göre de, Ağ Optimizasyonu çözümü katkı marjını ortalama 2.35% oranında, net karı ise 2.98% oranında iyileştirmektedir. Gelecek çalışmalar kapsamında, ilgili çözümün ağ optimizasyon dar boğazlarıyla karşılaşan farklı endüstrilere de yaygınlaştırması amaçlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Billal, M. M., Islam, M. M., Alam, M. S., ve Hossain, M. M. (2015). Optimal supply chain network opportunities: the case of Bangladesh. *World Journal of Social Sciences*, 5(3), 197-210.
- Chukwuma, N. K., ve Chukwuma, E. (2015). Optimizing cement distribution in the Nigerian cement manufacturing industry: the case of cement distribution from selected firms to markets in Ebonyi state. *International Journal of Research in Business Management*, 3(2), 35-64.
- Das, A., Adnan, T. M., Hassan, M. S., ve Rahman, K. M. (2017). Analysing logistics cost factors and developing cost optimization tools and techniques for a cement industry (Case study: Lafarge Surma Cement Ltd). *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(04), 1504.
- Dikos, G., ve Spyropoulou, S. (2013). Supply chain optimization and planning in Heracles General Cement Company. *Interfaces*, 43(4), 297-312. doi:10.1287/inte.2013.0689
- Kostin, A., Macowski, D. H., Pietrobelli, J. M. T. A., Guillen-Gonsalbez, G., Jimenez, L., ve Ravagnani, M. A. S. S. (2018). Optimization-based approach for maximizing profitability of bioethanol supply chain in Brazil. *Computers & Chemical Engineering*, 115, 121-132. doi:10.1016/j.compchemeng.2018.04.001
- Oladejo, N. K., Abolarinwa, A., Salawu, S.O., ve Lukman, A. F. (2019). Optimization principle and its application in optimizing landmark university bakery production using linear programming. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 10(2), 183-190.
- Samani, H. M. V., ve Mottaghi, A. (2006). Optimization of water distribution networks using integer linear programming. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(5), 501-509. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:5(501)
- Sulistyo, D. E., Herryandie, A., ve Jonrinaldi (2019). Inventory and transportation model for decision making in cement industry (case study at pt semen padang). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 505. doi:10.1088/1757-899X/505/1/012084
- Togo, D. F. (2005). Integrating operations management into cost systems: an accounting approach to linear programming. *Journal of Business Case Studies (JBSCS)*, 1(4), 27-32. doi:10.19030/jbcs.v1i4.4931
- Vidal, C. J., ve Goetschalckx, M. (2001). A global supply chain model with transfer pricing and transportation cost allocation. *European Journal of Operational Research*, 129(1), 134-158. doi:10.1016/S0377-2217(99)00431-2
- Vimal, K. E. K., Rajak, S., ve Kandasamy, J. (2019). Analysis of network design for a circular production system using multi-objective mixed integer linear programming model. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 628-646. doi:10.1108/JMTM-02-2018-0058.