

Bulanık PERT Yöntemiyle Lojistik İç Taşıma Süreci Analizi

(Araştırma Makalesi)

Logistics Inland Haulage Process Analysis with Fuzzy PERT Method
Doi: 10.29023/alanyaakademik.705424

Sibel BAYAR

Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
sibelb@istanbul.edu.tr
Orcid No: 0000-0002-9169-935X

Ercan AKAN

Barbaros Hayrettin Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, İskenderun Teknik Üniversitesi
ercan.akan@iste.edu.tr
Orcid No: 0000-0003-0383-8290

How to cite this article: Bayar, S & Akan, E.. (2021). "Bulanık PERT Yöntemiyle Lojistik İç Taşıma Süreci Analizi", *Alanya Akademik Bakış*, 5(1), Sayfa No. 211-230.

ÖZET

Anahtar kelimeler:

Lojistik süreci, Bulanık PERT, İç taşıma süreci

Makale Geliş Tarihi:

03.03.2020

Kabul Tarihi:

30.09.2020

Lojistik süreçlerin en önemli halkalarından biri taşımacılık süreçleridir. Taşımacılık süreçleri, ana taşıma noktası olan terminallere ulaşmayı kapsayan ön taşıma, ana taşıma ve varış terminalinden alıcıya olan ulaşımı kapsayan son taşıma süreçlerinden oluşmaktadır. Ön taşıma ve son taşıma süreçleri genel olarak iç taşıma olarak adlandırılmakla beraber; ön taşımayı ihracat iç taşıma, son taşımayı ise ithalat iç taşıma olarak ifade edebiliriz. Ana taşıma süreci kadar, etkin bir taşıma süreci için iç taşıma sürecinin de eksiksiz bir şekilde yönetilmesi önemlidir. Bu bakımdan çalışmada, deniz ithalat ve ihracat iç taşıma süreçlerinin analizi bulanık PERT yöntemiyle yapılmış olup, her bir sürecin tamamlanma süreleri ve kritik yol ve süreleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte; her bir sürecin faaliyetleri ve süreleri bir lojistik firmanın ilgili departmanı tarafından tespit edilmiştir.

ABSTRACT

Keywords:

Logistics process,
Fuzzy PERT, Inland
haulage process

One of the most important rings of logistics processes is transportation processes. Transportation processes consist of pre-carriage, which includes the transportation to the terminals, the main transportation, and the on-carriage, which includes the transportation from the main transportation and arrival terminal to the buyer. While the pre-carriage and on-carriage processes are generally called inland haulage, we can refer to the front transport as export pre-carriage, the last transport as import on-carriage. For an efficient transportation process, it is important to manage the inland haulage process as well as the main transportation process. In this regard, the analysis of the sea import and export inland haulage processes is carried out using the fuzzy PERT method, and the completion times and critical paths and times of each process were determined. However, the activities

and durations of each process have been determined by the relevant department of a logistics company.

1. GİRİŞ

Küreselleşmeyle birlikte pazar alanları genişlemiş ve büyük ölçekli işletmelerin haricinde küçük ve orta ölçekli işletmeler de ürünlerini dünyanın bir ucunda bulunan müşterilere satmaya başlamışlardır. Dolayısıyla, teknolojinin gelişmesiyle birlikte artan seri üretimin yanında ürünlerin nihai tüketiciye ulaştırılması gerekliliği de karmaşık bir lojistik sürecini beraberinde getirmiştir. Bu nedenle üreticiler genellikle lojistik faaliyetlerinin yönetilme sürecini forvarderlere, 3PL, 4 PL vb. lojistik şirketlere teslim etmektedirler. Lojistik zincirin bir parçası olan taşımacılık sürecinin etkin bir şekilde yönetilmesiyle, lojistik zincirdeki maliyetler belirgin bir biçimde düşecektir. Bu nedenle üreticiler için de etkin bir taşımacılık süreci oldukça gereklidir. Genelde üreticiden çıkan yükler paketlenir ve konteynerlere yüklenerek taşımaya hazır hale gelir ve taşımacılık gerçekleşir. Maliyet avantajından dolayı büyük bir olasılıkla uygun taşıma modu dünya taşımacılığının %82'sini gerçekleştiren (DTO,2019) denizyolu taşımacılığı olarak belirlenir ve taşımacılık zinciri başlamış olur.

Bu bakımdan taşımacılık zincirini ele almak gerekirse; tipik bir taşıma zinciri üç bölüme ayrılabilir ve her bölüm ayrı bir taşıma modu ile çalıştırılır (Macharis ve Bontekoning, 2004). İlk bölüm, ön taşıma (pre-carriage) olarak adlandırılır. Ön taşıma sürecinde, yükün ana taşıma noktasına ulaştırılması için ulaşım araçları vasıtasıyla gerçek müşterilerden (gönderenler) alınan tam dolu bir konteyneri terminallere taşınmaktadır. İkinci bölüm ise, ana taşıma süreci olup; yükün alacağı en uzun mesafe bu süreci kapsamaktadır. Bu ikinci bölümde, konteynerleri terminaller arasında taşımak için çoğunlukla mavna, derin deniz taşımacılığı veya demiryolu ile gerçekleştirilir. Son bölüm, kamyonlarla terminallerden müşterilere (alıcılara) konteyner taşımacılığı anlamına gelir ve son taşıma (on-carriage) olarak adlandırılmaktadır (Funke ve Kopfer, 2016). Dolayısıyla ana taşıma sürecinin dışındaki ön taşıma ve son taşıma süreçleri, iç taşıma süreçleri olup, iç taşımalarda aşağıdaki üç durum olasıdır (Odijk, 2009):

- İthalat yük akışı: Dolu konteyner terminalden ithalatçıya doğru yola çıkar ve yükler boşaltıldıktan sonra terminale boş olarak geri getirilir.
- İhracat yük akışı: Boş konteyner terminalden ihracatçıya doğru yola çıkar ve ihracatçıda yükler yüklendikten sonra terminale dolu olarak geri gönderilir.
- Birleştirilmiş veya eşleştirilmiş akış: Bazı durumlarda ithalat ve ihracat yük akışı, ithalatçıdan ihracatçıya direk olarak boş konteyner gönderilerek durum birleştirilebilir. Bu durumda dolu konteyner limandan ithalatçıya gönderilir. Burada yükler boşaltıldıktan sonra boş konteyner ihracatçıya yollanır. İhracatçıda yükler yüklendikten sonra ise dolu konteyner terminale geri taşınır.

Üreticiden nihai tüketiciye kadar etkin bir şekilde taşımacılık sürecinin organize edilmesi, ana taşımacılığın yanı sıra ön taşıma (pre-carriage) ve son taşıma (on-carriage) süreçlerinin de etkin bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. İç taşıma maliyetlerinin toplam taşıma maliyetlerinin %40'ı olması (Escudero vd, 2013) nedeniyle, iç taşıma süreçlerinin etkin bir şekilde organize edilmemesi durumunda taşımacılık zincirindeki aksaklıklar maliyetleri ciddi bir biçimde etkileyecektir.

Bu nedenle çalışmada; iç taşıma sürecinin etkin bir şekilde yönetilmesi amacıyla, ihracat yükleri için müşteriden yükleme yeri ve gününün sorgulanmasıyla başlayıp, armatörle liman giriş kapı kaydı kontrolüne; ithalat yükleri içinse ordino teslimi ve gümrük ambar onay teyidi ile başlayıp, boş konteyner teslim sürecine kadar süren lojistik şirketin iç taşıma sürecindeki tüm iş faaliyetleri ve bulanık sayılarla faaliyetlerin süreleri belirlenmiş ve bulanık PERT (Program Evaluation and Review Technique) yöntemiyle kritik yol faaliyet ve tamamlanma süreleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

2. LİTERATÜR

Çalışmada lojistik şirketlerinin ithalat ve ihracat yükleri için iç taşıma süreçlerindeki iş süreçlerinin kritik yol faaliyet ve proje tamamlanma süreleri bulanık PERT ile bulunmuştur. Çalışmada öncelikle iç taşıma süreci ile ilgili yapılan çalışmalar belirtilecek olup, daha sonra genel olarak PERT ve bulanık PERT ile ilgili çalışmalar ve kritik yol ve ağ süreç analizleri ile ilgili diğer çalışmalar belirtilecektir.

Bu kapsamda iç taşıma süreci ile ilgili yayınlar incelenecek olursa; Kurtuluş ve Çetin (2020) kısa mesafeli iç konteyner taşımacılığında taşıma modunun seçiminin davranışsal yönlerini dikkate alarak, durum seçim deney tekniği ile modal kayma potansiyelini araştırmışlardır. Seçim yaparken istatistiksel olarak anlamlı olan taşıma maliyeti, transit süre, gecikme yüzdesi, frekans ve serbest zaman kriterleri tanımlanmıştır. Esneklikler taşıma maliyetinin, mod seçimi üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu ve modal kaymanın intermodal demiryolu taşıma maliyetinden ziyade, karayolu taşıma maliyetlerine daha duyarlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca Berqvist ve Monios (2016) intermodal taşımacılık zincirinin tümü için ve özellikle ön ve son taşıma süreçleri için yüksek kapasiteli bir taşıma modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model ile son taşıma ile ilgili maliyet açığının ortadan kalktığını tespit etmişlerdir. Li vd (2014) ise intermodal taşımacılık ağındaki karmaşık taşıma talebi ve trafik koşullarıyla başa çıkmak amacıyla, derin deniz terminalleri ile iç terminaller arasındaki konteyner akışının atanması için doğrusal olmayan dinamik bir intermodal taşıma ağı modeli geliştirmişlerdir. Wiegman ve Konings (2013) hem intermodal iç su yolu ve karayoluyla birlikte hem de yalnızca karayolu taşımalarında intermodal yük taşıma maliyetini hesaplayabilen bir model geliştirmişlerdir. İlgili iç taşıma maliyet unsurlarının operasyonlar açısından hassasiyeti analiz edilmiştir.

Bununla birlikte; Valero vd (2011) konteyner deniz yüklerinin ulaştırılmasındaki iç taşıma ayağındaki karayolu ve demiryolu taşımacılığı arasında karmaşık bir mantık modeli geliştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, doğru bir fayda-maliyet analizi yapılmasına olanak sağlamıştır. Bir başka çalışmada; Berqvist ve Behrends (2011) intermodal taşımacılık zincirinde ön ve son taşımalarda uzun araçların (karayolu) kullanılmasının etkisini araştırmıştır. Bunun için maliyet verimliliği açısından potansiyeli ile ilgili bir hesaplama modeli geliştirmişlerdir. Yapılan sonuçlar, uzun araçların kullanılması durumunda intermodal taşımacılık zincirinin maliyetinde yaklaşık %5-10 oranında bir düşüş olacağını göstermektedir. Caris ve Janssens (2010) intermodal konteyner terminallerinin hizmet alanındaki ön ve son taşıma süreçlerinde tam kamyon yükü alma ve teslim sorununu modellemişlerdir. Modelin ilk aşamasında teslimat müşterileri ile alıcı müşterileri eşleştirilmekte, daha sonra bu müşteri çiftleri rotalara atanmakta olduğu iki fazlı bilişsel bir atama modeli geliştirilmiştir.

PERT/ Bulanık PERT ile ilgili yapılmış ilk çalışmalara bakacak olursak; Tatterson ve Wood (1973) ihracat sürecinde hava ve denizyolu taşımacılığı gibi alternatifler arasındaki dengeleri araştırmak için CPM/ PERT yöntemlerini kullanmışlardır. Chanas ve Kamburowski (1981) proje tamamlanma zamanını tahmin etmek için bulanık PERT metodunu geliştirmiştir. Mc Cohan ve Lee (1988) üçlü bulanık sayılar kullanarak belirsiz olan süreçte proje faaliyet sürelerini Proje Ağ (Network) Analizi ile hesaplamışlardır.

Yakın zamanda yapılan çalışmalara baktığımızda Sackey ve Kim (2019) projenin tamamlanma süresini tahmin etmek için varyans ve ortalamaların proje tamamlanma sürelerinin olasılığı üzerindeki etkisini göz önüne alarak yeni bir PERT yöntemi önermiş ve program riski tahmininin doğruluğunun geliştirilmesine katkıda bulunmuşlardır. Sonuçların PERT'e nazaran daha iyi bir hata oranına sahip olduğu görülmüştür. Habibi vd (2018) ise bulanık mantık tabanlı PERT yöntemi ile projede zamanı ve maliyetini tahmin etmişlerdir. İlk olarak proje süresi ve maliyetleri ile ilgili tahminler CPM ve PERT kullanılarak hesaplanmış, daha sonra proje faaliyetlerinin süreleri ve maliyetleri trapezoidal bulanık sayılara çevrilerek yeniden hesaplama yapılmıştır. Bununla birlikte Collier vd (2018) otomatik konteyner limanlarındaki stratejik yatırımlara senaryo analizi ve CPM/PERT analizi uygulamışlardır. Süre ve maliyet açısından çeşitli senaryolar değerlendirilmiştir. Mazlum (2014) ise yeni bir online internet şube proje sürelerini analiz etmek için CPM, PERT, bulanık CPM ve bulanık PERT yöntemlerini kullanmıştır.

Bununla birlikte Kocabıyık (2009) gemi inşa sanayinde kimyasal tanker gemi yapımındaki güverte sürecini analiz etmiş olup, projenin süre ve maliyetlerini PERT ve bulanık PERT yöntemleri ile hesaplamıştır. Chen ve Hsueh (2008) ise proje ağları için basit bir lineer programlama metodu ile, bulanık ortamda kritik yol analizi gerçekleştirmişlerdir. Bu yaklaşım CPM probleminin bulanık faaliyet zamanları ile analizi olup, Yager's Ranking metodunun temelinde çözüm gerçekleştirilmiştir. Chen ve Huang (2007) proje ağındaki kritik yolların bulunması için PERT ve bulanık PERT yöntemlerini karşılaştırmış ve bulanık PERT yönteminin daha efektif bir sonuç verdiğini tespit etmişlerdir.

Ayrıca Abdelbar vd (2019)'nin çalışması iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, genel ekipman verimliliğini zaman ve maliyet açısından analiz etmek için zaman süreç hareketlerine dayalı maliyetlendirme (TOABC) ve PERT yöntemleri; ikinci bölümde ise, AHP ve Altı Sigma kullanılarak genel ekipman verimliliği kalite bileşenini bulan formül önerilmiştir. Bu çalışma, zaman, maliyet ve kalite kriterlerine dayanan üç boyutlu bir analiz imkanı sunmaktadır. Takakura vd (2019) ise kritik yoldaki görev sürelerini iyileştirmek için, projenin tamamlanma süresi içindeki bütün süreçlerin tamamlanma olasılığını en üst düzeye çıkaran stokastik CPM tabanlı bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Bununla birlikte Vanícková (2019) lojistik süreçlerin optimizasyonu için verilerin toplanması ve analizinde gözlem yöntemi, üretim süreci için de CPM/PERT yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra üretim hacmi ve lojistik ve üretim süreçlerinin verimliliğini artırmak için etkinliği ROI yöntemi ile ekonomik olarak değerlendiren yeni katma değerli tedbirler önermiştir.

Laudares vd (2019) lojistik desteği için, savunma projelerin süreçlerinde son teslim tarihlerinin risk algısını iyileştirmek amacıyla PERT yöntemine alternatif olarak bir Monte Carlo simülasyon modeli geliştirmiş ve bulunan sonuçları PERT ile kıyaslamışlardır. Monte Carlo simülasyonunun, risk algısını iyileştirmek için risk yönetiminin ilk aşamasına uygulanabileceği görülmüştür. Aghdareh vd (2019) Dematel ve ağ analizi yöntemlerini kullanarak, önemli bir caddenin inşasında beton kaldırımın risklerinin incelenme, tanımlama

ve derecelendirilmesi için bir model geliştirmişlerdir. Calp ve Akcayol (2018) süreç analizinde CPM ve PERT tekniklerine alternatif olarak, genetik algoritma kullanarak kritik yol, faaliyet ve proje tamamlanma sürelerini belirlemiş olup, CPM ve PERT'e nazaran karmaşık problemlerin çözümünde daha hızlı optimum sonuca ulaşmışlardır. Gencer ve Türkbey (2001) istatistiki anlamlılık açısından PERT, bulanık PERT ve Gerçek Dağılım (GDağ) yöntemlerini proje sürelerinin hesaplanmasında karşılaştırmışlardır. GDağ yönteminde büyük şebekelerde model üstel olarak arttığından çözümün zorlaştığı, bulanık PERT modelinin ise işlem karmaşası yarattığı görülmüş olup, her üç yöntem arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığı görülmüştür.

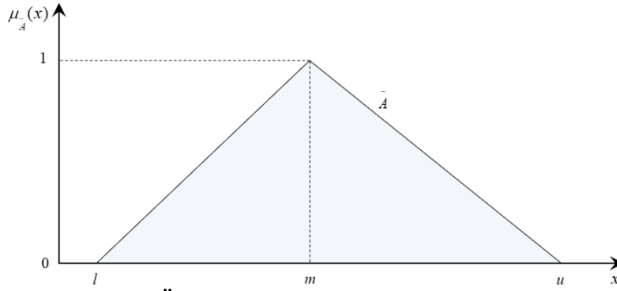
3. METODOLOJİ

Bu bölümde bulanık küme teorisi kavramı ve bulanık PERT konularına değinilmiştir.

3.1. Bulanık Küme ve Bulanık Sayılar

Zahed (1965) tarafından getirilen ve önerilen bulanık küme teorisi, bulanık kümeyi sıfır ve bir arasında değişen üyelik işlevlerini ve belirsiz verileri yararlı verilere dönüştürmek için bulanık sayıları içeren üç ana faktörden oluşur. Şekil 1'de üçgen bulanık sayılar

$A = (l, m, u)$ gösterilmiştir.



Şekil 1: Üçgen bulanık sayı üyelik fonksiyonu

Tanım 1. $A \in F(R)$ bulanık sayı olarak, $\mu_A(x_0) = 1$ gibi ve herhangi $\alpha \in [0,1]$ var olan $x_0 \in R$ için aşağıdaki şartları sağlıyorsa $A_\alpha = [x, \mu_{A_\alpha}(x) \geq \alpha]$, $[0,1]$ kapalı aralığındadır. Burada $F(R)$ tüm bulanık kümeleri ifade etmektedir ve R reel sayılardır.

Tanım 2. Bulanık sayılar R 'de A olarak tanımlanır. Eğer üyelik fonksiyonu $\mu_A(x) : R \rightarrow [0,1]$ ise A bulanık kümesinin üçgen üyelik fonksiyonu Denklem (1) gibidir:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < l, \\ (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m, \\ (u-x)/(u-m), & m \leq x \leq u, \\ 0, & x > u. \end{cases} \quad (1)$$

\tilde{A} bulanık kümesinde $l \leq m \leq u$ olarak tanımlanan, l en küçük değerli, u en büyük değerli ve m iki değer arasında eleman olarak ifade edilmektedir. Ancak $l = m = u$ olduğunda, \tilde{A} bir bulanık küme değildir. Üçgen bulanık sayılar (l, m, u) olarak gösterilir. \tilde{A} bulanık kümesinin elemanları $\{x \in R \mid l < x < u\}$ şeklindedir.

İki üçgen bulanık sayı kümeleri arasındaki işlemler için \tilde{A}_1 ve \tilde{A}_2 , $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ tanımlı olsun. Buna göre bulanık kümelerdeki aritmetik işlem kuralları aşağıdaki *Denklem (2-7)* gibidir (Kaufmann ve Gupta, 1988; Kaufmann ve Gupta, 1991):

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2)$$

$$\tilde{A}_1 \ominus \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \ominus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2) \quad (3)$$

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) \approx (l_1 x l_2, m_1 x m_2, u_1 x u_2) \quad (4)$$

$$\frac{\tilde{A}_1}{\tilde{A}_2} = \frac{(l_1, m_1, u_1)}{(l_2, m_2, u_2)} \approx \left(\frac{l_1}{u_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{u_1}{l_2} \right) \quad (5)$$

$$k \otimes \tilde{A}_1 = k \otimes (l_1, m_1, u_1) = (kx.l_1, kxm_1, kxu_1), \quad \forall k > 0, \quad k \in R \quad (6)$$

$$\left(\tilde{A}_1 \right)^{-1} = (l_1, m_1, u_1)^{-1} \approx (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1) \quad (7)$$

3.2. Best Nonfuzzy Performance (BNP) Durulaştırma

Literatürde pek çok bulanık küme sayılarını durulaştırma yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışma için ağırlık merkezi durulaştırma metodu (Center of Area (COA)) olan En İyi Bulanık Olmayan Performans (Best Nonfuzzy Performance (BNP)) yöntemi önerilmiştir (Bellman ve Zadeh, 1970; Opricovic ve Tzeng, 2003; Hsieh ve diğ., 2004). Üçgen bulanık sayıları $\tilde{A} = (l, m, u)$ olarak tanımlandığında, bu durumda durulaştırma, *Denklem (8)*'deki gibi hesaplanır:

$$BNP_i = l_i + \left[\frac{(u_i - l_i) + (m_i - l_i)}{3} \right], \quad \forall i \quad (8)$$

3.3. Bulanık PERT Yöntemi

PERT (Program Evaluation and Review Technique) proje yönetiminde kullanılan bir planlama ve kontrol tekniğidir. Projenin kıyaslama metodu ile projenin tamamlanma zamanının bulunması, ileriye doğru hesaplamada $\left(\overset{\square}{ES}_i ! \overset{\square}{EF}_i \right)$ *Bulanık Erken Başlama- Bulanık Erken Bitiş* süreleri ve geriye doğru hesaplamada ise *Bulanık Geç Başlama- Bulanık Geç Bitiş* $\left(\overset{\square}{LS}_i ! \overset{\square}{LF}_i \right)$ süreleri *Denklem (9-12)* gibi hesaplanmaktadır (Li ve Lee, 1987 McCahon C.S. & Lee, 1988):

$$\tilde{ES}_i = \max_{v_j \in P_i} \left[\tilde{ES}_j \oplus \tilde{A}_j \right]$$

(9)

$$\overset{\square}{EF}_i = \overset{\square}{ES}_i \oplus \overset{\square}{A}_i$$

(10)

$$\overset{\square}{LF}_i = \min_{v_j \in S_i} \left[\overset{\square}{LF}_j \oplus \overset{\square}{A}_j \right]$$

(11)

$$\overset{\square}{LS}_i = \overset{\square}{LF}_i \oplus \overset{\square}{A}_i$$

(12)

Burada;

\tilde{ES}_i i faaliyetinin bulanık faaliyetin erken başlama zamanı,

\tilde{EF}_i i faaliyetinin bulanık faaliyetin erken bitiş zamanı,

\tilde{LF}_i i faaliyetinin bulanık faaliyetin geç bitiş zamanı,

\tilde{LS}_i i faaliyetinin bulanık faaliyetin geç başlama zamanı,

\tilde{A}_j j faaliyetinin bulanık faaliyet süresi,

v_j j . faaliyet,

P_i j faaliyetinin öncülleri,

S_i j faaliyetinin ardılları.

olmaktadır. Üçgen bulanık sayılar kullanıldığında; bir faaliyetin başlaması için birden çok faaliyetin tamamlanması gerektiği durumlarda bir sonraki faaliyetin başlayabilmesi için, en

erken başlama süresinin bulunmasında kullanılan bulanık öncüllük faktörleri $S\left(\overset{\square}{A}\right)$ ve $m\left(\overset{\square}{A}\right)$ 'dır (Lee ve Li, 1987; McCahon C.S. & Lee, 1988) ve

$$m\left(\overset{\square}{A}_i\right) > m\left(\overset{\square}{A}_j\right) \text{ veya } m\left(\overset{\square}{A}_i\right) = m\left(\overset{\square}{A}_j\right) \text{ ve } S\left(\overset{\square}{A}_i\right) < S\left(\overset{\square}{A}_j\right) \text{ şartlarının sağlanması}$$

durumunda $\overset{\square}{A}_i > \overset{\square}{A}_j$ olduğu varsayılmakta ve $\overset{\square}{A}_i$ 'nin değerleri, en erken başlama sürelerine karşılık gelmektedir *Denklem (13-14)* (Gencer ve Tükbey, 2001; McCahon C.S. & Lee, 1988).

$$m\left(\overset{\square}{A}\right) = \frac{1}{3}(a+b+c)$$

(13)

$$S\left(\overset{\square}{A}\right) = \frac{1}{18}(a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc)$$

(14)

Bir proje ağındaki faaliyet süreleri bulanık olarak verildiğinde, kritik yolun belirlenmesinde zorluklar bulunmaktadır. Bu nedenle proje ağı üzerinde yer alan her bir kritik yolun kritiklik dereceleri hesaplanarak, kritik yol buna göre belirlenir. Bir yol için kritiklik derecesi *Denklem (12)*'deki gibi tanımlanır (McCahon & Lee, 1988; Chanas, 1982):

$$Cp_i = \sup_{x_i} \left[\tilde{T}_{pi} \wedge \tilde{T} \right] \quad (15)$$

Burada;

\tilde{T}_{pi} i. yolun bulanık yol uzunluğu

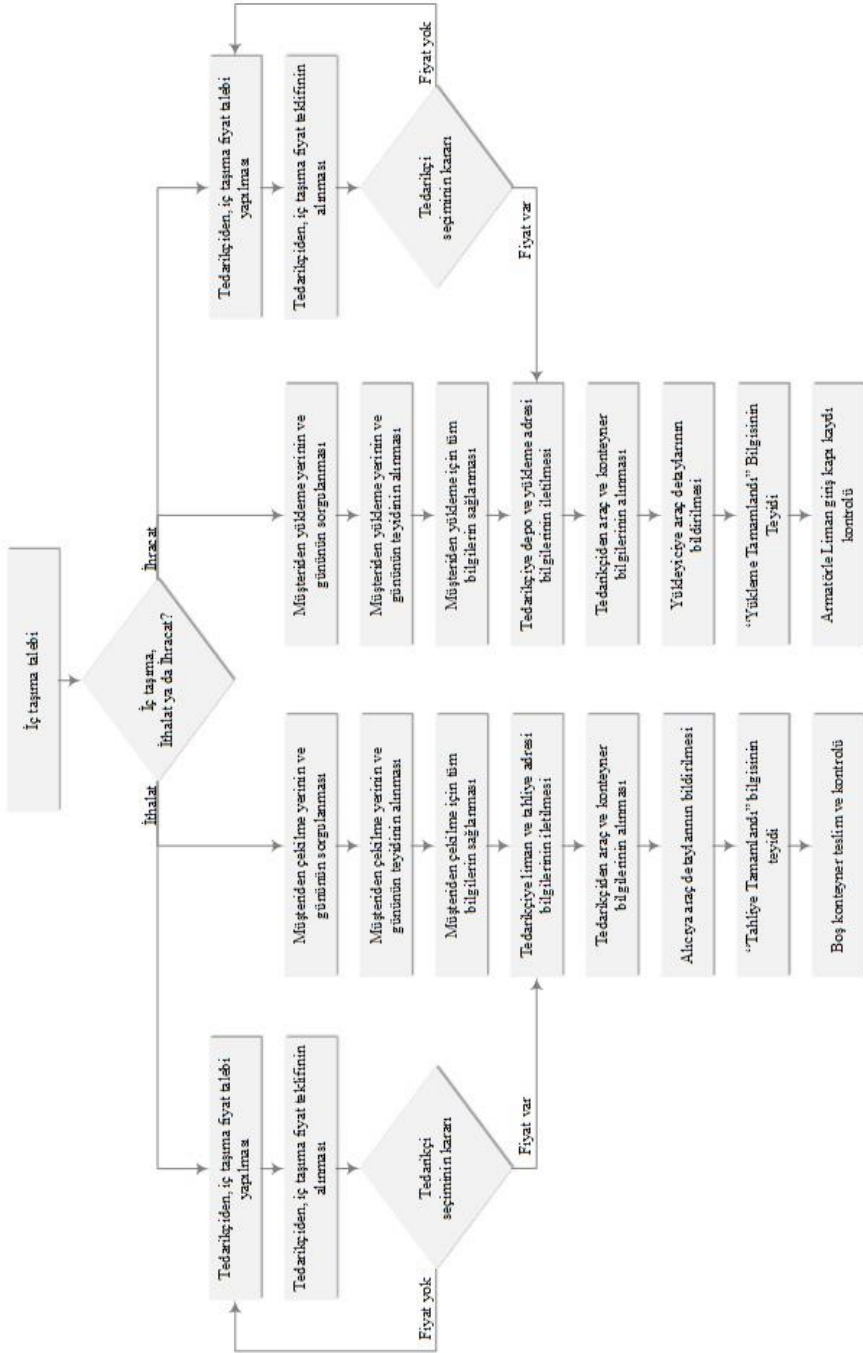
\tilde{T} bulanık proje tamamlanma süresi
olmaktadır.

4. LOJİSTİK DENİZYOLU İÇ TAŞIMA SÜRECİ UYGULAMA

Lojistikte birçok lojistik faaliyet bulunmaktadır. Lojistik faaliyetlerinden biri olan iç taşıma, lojistik işletmesinin müşterilerine sunmuş olduğu bir hizmettir. Bu hizmet, lojistik işletmesinin yapısına bağlı olarak farklılıklar gösterebilmektedir. Lojistik şirketi bu hizmet için, 3PL hizmeti alabileceği gibi kendi kendisi de bu hizmeti verebilmektedir. Durum her ne olursa olsun, Alıcı-Satıcı arasındaki anlaşmaya bağlı olarak INCOTERM sözleşmesi gereğince taşımanın teslim şartları EXW (Ex Works) veya DAP (Delivered At Place) olabilmektedir. Dolayısıyla bu tarz taşıma hizmetleri her zaman aynı INCOTERM sözleşmesi kapsamında olmamakta; bazen de müşteriler iç taşıma hizmetini (ihracat ya da ithalat) lojistik şirketlerinden talep edebilmektedirler. Hiç kuşkusuz her bir durum için de verilen bu hizmet,

bir süreci içermektedir ve operasyon süresince hataların olmaması operasyonun başarılı bir şekilde tamamlanmasını sağlayacaktır. Aksi takdirde operasyon sürecinde meydana gelecek sorunlar toplamdaki sürece etki edecek ve her bir taraf için istenmeyen durum ve şikâyetler oluşabilecektir. Böyle bir durumda lojistik sürecin doğru ve başarılı bir şekilde yönetilmesi, tüm taraflara fayda sağlayacaktır.

Bu bakış çerçevesinde bu çalışmada, uluslararası faaliyet gösteren bir lojistik şirketinin iç taşıma (pre-carriage, on-carriage, inland haulage) sürecinin analizi yapılmıştır. Bu sürecin analizinde, Bulanık PERT yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle iç taşıma faaliyetleri ayrıştırılarak (WBS), her bir faaliyetin bulanık süreleri uzman kişiler tarafınca atanmıştır. İç taşıma sürecine ait iş akış diyagramı oluşturulmuş ve bulanık ileriye ve geriye doğru hesaplanarak sürecin tamamlanma süreleri bulunarak, kritik faaliyetler belirlenmiştir. *Şekil 2*'de İhracat ve ithalat yönlü iç taşıma sürecine ilişkin akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 2. İç taşıma süreci

Tablo 1’de, denizyolu ihracat iç taşıma operasyonu sürecinin ayrıştırılmış olarak açıklanmıştır. Bu gruptaki işlemler, işlemlerinin ayrıştırarak, aşağıdaki faaliyetlerden oluşmaktadır.

Tablo 1. İhracat İç Taşıma Faaliyetler

No	Faaliyet	Faaliyet Açıklama
E1	Başlamak	Faaliyetlere başlamak.
E2	Müşteriden yükleme yerinin ve gününün sorgulanması	Müşteriden, yükleme yerinin, yükleme gününün ve yükleme sorumlusu kişinin detaylarının e-mail/telefon yoluyla talep edilmesi.
E3	Müşteriden yükleme yerinin ve gününün teyidinin alınması	Müşteriden yüklemenin yapılacağı, yerinin, yükleme gününün ve yükleme sorumlusu kişinin detaylarının temin edilmesi faaliyetidir. Bazen bilgi için birkaç kere hatırlatma mailleri, telefonla ulaşılır ve zaman alıcı süreç de dikkate alınır.
E4	İhracat rezervasyon onayı ve detayların temini	Line’dan, ihracatı yapılacak olan yükleme için rezervasyon yapılması ve bu rezervasyon detaylarının temin edilmiş olması
E5	Tedarikçiden, İç Taşıma Fiyat Talebi Yapılması	İç taşımada fiyat araştırılması talebi. İlgili güzergâh için uygun olacak nakliyeciler belirlenip, e-mail/telefon yoluyla fiyat talep edilmesidir.
E6	Tedarikçiden, İç Taşıma Fiyat Teklifinin Alınması	Tedarikçilere fiyat talebiyle sorgulama yapılmıştır. Bu işlem, teklifin alınması sürecidir. İşlem bazen tedarikçiye gönderilen e-mail/telefon ile hemen neticeleneceği gibi bazen de birkaç kere hatırlatma mailleri, telefonla ulaşılır ve zaman alıcı süreçtir ve dikkate alınır.
E7	Tedarikçinin Seçiminin Kararı	Eldeki listede bulunan fiyatlarla ve tedarikçilerden alınan fiyatların değerlendirilmesi yapılarak, iç taşıma organize yapılması planlanan tedarikçinin seçilmesi sürecidir.
E8	Tedarikçiye Depo ve Yükleme Adresi bilgilerinin iletilmesi	Nakliyenin yapılacağı tedarikçiye, armatörden alınan booking föy (konteynerin alınacağı depo adresi, booking no, armatör, yükleme limanı) ve yükleme adresi detayları, yükleme sorumlusu bilgilerinin iletilmesi.
E9	Tedarikçiden araç ve konteyner bilgilerinin alınması	Nakliyecinin Armatör deposundan aldığı konteyner detayları, araç detayları, şoför bilgileri detaylarının temin edilmesi. Bazen tedarikçiden talep edilmeksizin bu bilgi tarafımıza ulaşır ancak bazen de tedarikçiye e-mail gönderilir ve gönderilen e-mail üzerinden birkaç kez hatırlatma da istenir ayrıca birkaç kez telefonda da ulaşılmaya çalışılır fakat bu süreç zaman alıcı bir süreçtir ve dikkate alınır.
E10	Yükleyiciye araç detaylarının bildirilmesi	Tedarikçiden alınan, konteyner, şoför ad soyadı, telefon, araç plaka detayları yükleyiciye e-mail/telefon/fax yoluyla bildirilmesidir.
E11	“Yükleme Tamamlandı” Bilgisinin Teyidi	Araç yükleyiciye gönderildikten sonra aracın yüklendiğine dair, şoför veya yükleyici tarafından teyit alınması. Bazen tedarikçiye veya müşteriye kolay ulaşıp bu bilgi temin edilir. Ancak bazen de tedarikçi veya yükleyiciye ulaşmak için birkaç kez telefonda ulaşılmaya çalışılır fakat bu süreç zaman alıcı bir süreçtir ve dikkate alınır.
F12	Armatörle Liman giriş kapı kaydı kontrolü	Yüklenen aracın limana konteyneri indirebilmesi ve giriş yapabilmesi için, ilgili limana ve liman giriş kapısına armatör

		tarafından konteyner detaylarının bildirilmiş olmasının armatör üzerinden kontrolü ve teyidi sürecidir. Bazen armatöre kolay ulaşıp bu bilgi temin edilir. Ancak bazen de armatöre ulaşmak için birkaç kez e-mail ve telefondan ulaşılmaya çalışılır fakat bu süreç zaman alıcı bir süreçtir ve dikkate alınır.
F13	Bitirmek	Faaliyetleri bitirmek.

Tablo 2’de, denizyolu ithalat iç taşıma operasyonu sürecinin ayrıştırlmış olarak açıklanmıştır. Bu gruptaki işlemler, aşağıdaki faaliyetlerden oluşmaktadır.

Tablo 2. İthalat İç Taşıma Faaliyetler

No	Faaliyet	Faaliyet Açıklama
I1	Başlamak	Faaliyetlere başlamak.
I2	Ordino teslimi ve gümrük ambar onayı teyidi	Müşteriye ordino tesliminin yapılmış olduğunun teyit edilmesi. Ayrıca, gümrükte ambar onaylarının yaptırılması için evrakların hazırlanması ve ambar onaylarının yaptırılması tamamlanarak yükün ithalatının tamamlanması için taşınmaya hazır olmasıdır.
I3	Müşteriden yükün çekilme günün sorgulanması talebi	Müşteriden, yükün çekilmesi için yükün hazır olup olmadığını ve ne zaman hazır olacağı bilgilerinin e-mail/telefon yoluyla talep edilmesi.
I4	Müşteriden yükün çekilme gününün ve tahliye detaylarının teyidinin alınması	Müşteriden yükün çekilmesi için; tahliye yerinin, çekilme gününün ve tahliyedeki sorumlusu kişinin detaylarının temin edilmesi faaliyetidir. Bazen bilgi için birkaç kere hatırlatma mailleri, telefonla ulaşılır ve zaman alıcı süreç de dikkate alınır.
I5	Tedarikçiden, İç Taşıma Fiyat Talebi Yapılması	İç taşımada fiyat araştırılması talebi. İlgili güzergâh için uygun olacak nakliyeciler belirlenip, e-mail/telefon yoluyla fiyat talep edilmesidir.
I6	Tedarikçiden, İç Taşıma Fiyat Teklifinin Alınması	Tedarikçilere fiyat talebiyle sorgulama yapılmıştır. Bu işlem, teklifin alınması sürecidir. İşlem bazen tedarikçiye gönderilen e-mail/telefon ile hemen neticeleneceği gibi bazen de birkaç kere hatırlatma mailleri, telefonla ulaşılır ve zaman alıcı süreçtir ve dikkate alınır.
I7	Tedarikçinin Seçiminin Kararı	Eldeki listede bulunan fiyatlarla ve tedarikçilerden alınan fiyatların değerlendirilmesi yapılarak, iç taşıma organize yapılması planlanan tedarikçinin seçilmesi sürecidir.
I8	Tedarikçiye Yükleme Adresi (Liman) ve Tahliye Adresi bilgilerinin iletilmesi	Nakliyenin yapılacağı tedarikçiye, çıkış limanı, konteyner numarası ve gümrükçü detayları, tahliye adresi detayları, tahliyedeki sorumlu kişi ve boş dönüş depo adresi.
I9	Tedarikçiden araç ve konteyner bilgilerinin alınması	Nakliyecinin Limandan yüklediği konteyner detayları, araç detayları, şoför bilgileri detaylarının temin edilmesi. Bazen tedarikçiden talep edilmeksizin bu bilgi tarafımıza ulaşır ancak bazen de tedarikçiye e-mail gönderilir ve gönderilen e-mail üzerinden birkaç kez hatırlatma da istenir ayrıca birkaç kez telefondan da ulaşılmaya çalışılır fakat bu süreç zaman alıcı bir süreçtir ve dikkate alınır.
I10	Alıcıya araç detaylarının bildirilmesi	Tedarikçiden alınan, konteyner, şoför ad soyadı, telefon, araç plaka detayları alıcıya e-mail/telefon/fax yoluyla

		bildirilmesidir.
I11	“Tahliye Tamamlandı” Bilgisinin Teyidi	Araç alıcıya gönderildikten sonra aracın tahliye edildiğine dair, şoför veya alıcı tarafından teyit alınmasıdır. Bazen tedarikçiye veya müşteriye kolay ulaşıp bu bilgi temin edilir. Ancak bazen de tedarikçi veya müşteriye ulaşmak için birkaç kez telefonda ulaşılmaya çalışılır fakat bu süreç zaman alıcı bir süreçtir ve dikkate alınır.
I12	Boş Konteyner Teslim ve Kontrolü	Alicıda tahliye edilen konteynerin, boş olarak armatörün belirlediği depoya teslimidir. Genellikle bu süreç nakliyecinin sorumluluğunda olup takip edilmez. Nadiren gerek duyulduğunda, tedarikçi veya armatör aranarak konteynerin depoya güvenli bir şekilde teslim edildiğinin teyididir. Bazen Tedarikçiye veya armatöre kolay ulaşıp bu bilgi temin edilir. Ancak bazen de armatöre ulaşmak için birkaç kez e-mail ve telefonda ulaşılmaya çalışılır fakat bu süreç zaman alıcı bir süreçtir ve dikkate alınır.
I13	Bitirmek	Faaliyetleri bitirmek.

Tablo 3. İhracat ve İthalat iç taşıma faaliyet bulanık süreler ve öncüller

No	İhracat İç Taşıma			İthalat İç Taşıma		
	Faaliyet	Öncüller	Bulanık Süreler	Faaliyet	Öncüller	Bulanık Süreler
1	E1		(0, 0, 0)	I1		(0, 0, 0)
2	E2	E1	(3, 6, 9)	I2	I1	(5, 10, 15)
3	E3	E2	(4, 8, 12)	I3	I1	(3, 6, 9)
4	E4	E1	(6, 12, 18)	I4	I3	(4, 8, 12)
5	E5	E1	(3, 6, 9)	I5	I1	(3, 6, 9)
6	E6	E5	(4, 8, 12)	I6	I5	(4, 8, 12)
7	E7	E6	(4, 8, 12)	I7	I6	(4, 8, 12)
8	E8	E3, E4, E7	(5, 10, 20)	I8	I2, I4, I7	(3, 7, 11)
9	E9	E8	(5, 10, 15)	I9	I8	(5, 10, 15)
10	E10	E9	(3, 7, 9)	I10	I9	(3, 7, 9)
11	E11	E10	(4, 9, 13)	I11	I10	(4, 9, 13)
12	E12	E11	(4, 10, 16)	I12	I11	(6, 12, 18)
13	E13	E12	(0, 0, 0)	I13	I12	(0, 0, 0)

İç taşımaya ait ithalat ve ihracat yönlü olarak bulanık faaliyet süreleri ve öncül faaliyetler ise, Tablo 3’de verilmiştir.

4.1. İhracat İç Taşıma Süreci

Tablo 4. İhracat iç taşıma süreci geriye doğru bulanık hesaplama

No	Faaliyet	ES (Erken Başlama)	EF (Erken Bitirme)
1	E1	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)
2	E2	(0.0, 0.0, 0.0)	(3.0, 6.0, 9.0)
3	E3	(3.0, 6.0, 9.0)	(7.0, 14.0, 21.0)
4	E4	(0.0, 0.0, 0.0)	(6.0, 12.0, 18.0)

5	E5	(0.0, 0.0, 0.0)	(3.0, 6.0, 9.0)
6	E6	(3.0, 6.0, 9.0)	(7.0, 14.0, 21.0)
7	E7	(7.0, 14.0, 21.0)	(11.0, 22.0, 33.0)
8	E8	Max[EF _{E3} , EF _{E4} , EF _{E7}] = EF _{E7} = (11.0, 22.0, 33.0)	(16.0, 32.0, 53.0)
9	E9	(16.0, 32.0, 53.0)	(21.0, 42.0, 68.0)
10	E10	(21.0, 42.0, 68.0)	(24.0, 49.0, 77.0)
11	E11	(24.0, 49.0, 77.0)	(28.0, 58.0, 90.0)
12	E12	(28.0, 58.0, 90.0)	(32.0, 68.0, 106.0)
13	E13	(32.0, 68.0, 106.0)	(32.0, 68.0, 106.0)

Bulanık PERT yöntemi ile ihracat yükleri için iç taşıma sürecinde öncelikle belirlenen faaliyetler ve sürelerden hareketle, bulanık ES (Erken Başlama) ve bulanık EF (Erken Bitirme) zamanları Denklem (9-14) vasıtasıyla hesaplanarak Tablo 4'de gösterilmiştir.

Ardından, bulanık faaliyet sürelerinin değerleriyle beraber Denklem (9-14) vasıtasıyla, LS (Geç Başlama) ve LF (Geç Bitirme) zamanları hesaplanarak Tablo 5'de gösterilmiştir.

Tablo 5. İhracat iç taşıma süreci geriye doğru bulanık hesaplama

No	Faaliyet	LS (Geç Başlama)	LF (Geç Bitirme)
			Min[LF _{E2} , LF _{E4} , LF _{E5}] = LF _{E2} = (-74.0, 0.0, 74.0)
1	E1	(-74.0, 0.0, 74.0)	74.0)
2	E2	(-62.0, 8.0, 78.0)	(-53.0, 14.0, 81.0)
3	E3	(-53.0, 14.0, 81.0)	(-41.0, 22.0, 85.0)
4	E4	(-59.0, 10.0, 79.0)	(-41.0, 22.0, 85.0)
5	E5	(-74.0, 0.0, 74.0)	(-65.0, 6.0, 77.0)
6	E6	(-65.0, 6.0, 77.0)	(-53.0, 14.0, 81.0)
7	E7	(-53.0, 14.0, 81.0)	(-41.0, 22.0, 85.0)
8	E8	(-41.0, 22.0, 85.0)	(-21.0, 32.0, 90.0)
9	E9	(-21.0, 32.0, 90.0)	(-6.0, 42.0, 95.0)
10	E10	(-6.0, 42.0, 95.0)	(3.0, 49.0, 98.0)
11	E11	(3.0, 49.0, 98.0)	(16.0, 58.0, 102.0)
12	E12	(16.0, 58.0, 102.0)	(32.0, 68.0, 106.0)
13	E13	(32.0, 68.0, 106.0)	(32.0, 68.0, 106.0)

Bulanık ihracat iç taşıma tamamlanma zamanı T, E13 faaliyetinin EF zamanıdır. Üç alternatif yol vardır. Bunlar;

- 1) Yol: (E1-E4-E8-E9-E10-E11-E12-E13) = (27.0, 58.0, 91.0)
- 2) Yol: (E1-E5-E6-E7-E8-E9-E10-E11-E12-E13) = (32.0, 68.0, 106.0)
- 3) Yol: (E1-E2-E3-E8-E9-E10-E11-E12-E13) = (28.0, 60.0, 94.0)

Bu alternatif yolların kritik dereceleri Denklem (15) ile hesaplanarak Tablo 6'da gösterilmiştir. Burada kritik derecesi yüksek olan 2 yol kritik yol olarak belirlenmiştir.

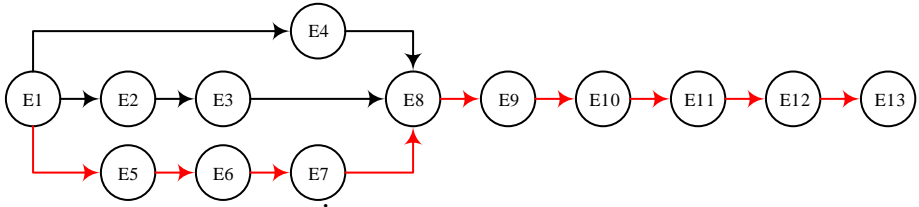
Tablo 6: Yolların Kritiklik Dereceleri

No	Alternatif Yollar	C_{pi}
1	(E1-E4-E8-E9-E10-E11-E12-E13)	0.89
2	(E1-E5-E6-E7-E8-E9-E10-E11-E12-E13)	1.00
3	E1-E2-E3-E8-E9-E10-E11-E12-E13)	0.86

Belirlenen kritik yolun bulanık sürelerinin durulaştırılması *Denklem (15)* ile aşağıdaki gibi yapılmış ve lojistikte ithalat iç taşıma süresi 68.7 dakika bulunmuştur.

$$\begin{aligned}
 BNP_i &= l_i + \left[\frac{(u_i - l_i) + (m_i - l_i)}{3} \right] \\
 &= 32 + \left[\frac{(106 - 32) + (68 - 32)}{3} \right] \\
 &= 68.7
 \end{aligned}$$

Buna göre ihracat iç taşıma sürecine ait ağ diyagramı *Şekil 3'*deki gibi verilmiştir.

**Şekil 3. İhracat iç taşıma süreci şebeke ağı**

İhracat iç taşıma sürecinin analizinde *Tablo 6* ve *Şekil 3'*de gösterildiği gibi E2,E3 ve E4 dışındaki bütün faaliyetler kritik yol üzerinde bulunmaktadır.

4.2. İthalat İç Taşıma Süreci

İthalat yükleri için iç taşıma sürecinde öncelikle bulanık PERT yöntemi ile belirlenen faaliyetler ve sürelerden hareketle *Denklem (9-14)* vasıtasıyla, bulanık *ES (Erken Başlama)* ve bulanık *EF (Erken Bitirme)* zamanları hesaplanarak *Tablo 7'*de gösterilmiştir.

Tablo 7. İthalat iç taşıma süreci geriye doğru bulanık hesaplama

No	Faaliyet	ES (Erken Başlama)	EF (Erken Bitirme)
1	I1	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)
2	I2	(0.0, 0.0, 0.0)	(5.0, 10.0, 15.0)
3	I3	(0.0, 0.0, 0.0)	(3.0, 6.0, 9.0)
4	I4	(3.0, 6.0, 9.0)	(7.0, 14.0, 21.0)
5	I5	(0.0, 0.0, 0.0)	(3.0, 6.0, 9.0)
6	I6	(3.0, 6.0, 9.0)	(7.0, 14.0, 21.0)
7	I7	(7.0, 14.0, 21.0)	(11.0, 22.0, 33.0)

		$\text{Max}[EF_{12}, EF_{14}, EF_{17}] = EF_{17} = (11.0, 22.0,$	
8	I8	33.0	(14.0, 29.0, 44.0)
9	I9	(14.0, 29.0, 44.0)	(19.0, 39.0, 59.0)
10	I10	(19.0, 39.0, 59.0)	(22.0, 46.0, 68.0)
11	I11	(22.0, 46.0, 68.0)	(26.0, 55.0, 81.0)
12	I12	(26.0, 55.0, 81.0)	(32.0, 67.0, 99.0)
13	I13	(32.0, 67.0, 99.0)	(32.0, 67.0, 99.0)

Bulanık faaliyet sürelerinin değerleriyle beraber *Denklemler (9-14)* vasıtasıyla, *LS (Geç Başlama)* ve *LF (Geç Bitirme)* zamanları hesaplanarak *Tablo 8'de* gösterilmiştir. Buna göre; bulanık ithalat iç taşıma tamamlanma zamanı T, I13 faaliyetinin EF zamanıdır. Üç alternatif yol vardır. Bunlar;

- 1) Yol: (I1-I3-I4-I8-I9-I10-I11-I12-I13) = (28.0, 59.0, 87.0)
- 2) Yol: (I1-I2-I8-I9-I10-I11-I12-I13) = (26.0, 55.0, 81.0)
- 3) Yol: (I1-I5-I6-I7-I8-I9-I10-I11-I12-I13) = (32.0, 67.0, 99.0)

Tablo 8. İthalat iç taşıma süreci geriye doğru bulanık hesaplama

No	Faaliyet	LS (Geç Başlama)	LF (Geç Bitirme)
1	I1	(-67.0, 0.0, 67.0)	$\text{Min}[LF_{11}, LF_{13}, LF_{15}] = LF_{15} = (-67.0, 0.0, 67.0)$
2	I2	(-49.0, 12.0, 73.0)	(-34.0, 22.0, 78.0)
3	I3	(-55.0, 8.0, 71.0)	(-46.0, 14.0, 74.0)
4	I4	(-46.0, 14.0, 74.0)	(-34.0, 22.0, 78.0)
5	I5	(-67.0, 0.0, 67.0)	(-58.0, 6.0, 70.0)
6	I6	(-58.0, 6.0, 70.0)	(-46.0, 14.0, 74.0)
7	I7	(-46.0, 14.0, 74.0)	(-34.0, 22.0, 78.0)
8	I8	(-34.0, 22.0, 78.0)	(-23.0, 29.0, 81.0)
9	I9	(-23.0, 29.0, 81.0)	(-8.0, 39.0, 86.0)
10	I10	(-8.0, 39.0, 86.0)	(1.0, 46.0, 89.0)
11	I11	(1.0, 46.0, 89.0)	(14.0, 55.0, 93.0)
12	I12	(14.0, 55.0, 93.0)	(32.0, 67.0, 99.0)
13	I13	(32.0, 67.0, 99.0)	(32.0, 67.0, 99.0)

Bu alternatif yolların kritik dereceleri *Denklemler (15)* ile hesaplanarak *Tablo 9'da* gösterilmiştir. Burada kritik derecesi yüksek olan 3. yol, kritik yol olarak belirlenmiştir.

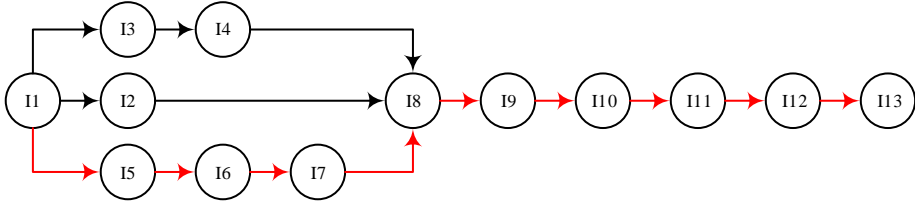
Tablo 9. Yolların Kritiklik Dereceleri

No	Alternatif Yollar	C_{pi}
1	(I1-I3-I4-I8-I9-I10-I11-I12-I13)	0.87
2	(I1-I2-I8-I9-I10-I11-I12-I13)	0.80
3	(I1-I5-I6-I7-I8-I9-I10-I11-I12-I13)	1.00

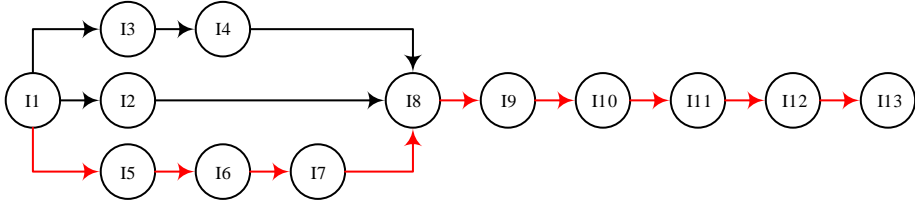
Belirlenen kritik yolun bulanık sürelerinin durulaştırılması *Denklem (15)* ile aşağıdaki gibi yapılmış ve lojistikte ithalat iç taşıma süresi 66 dakika bulunmuştur.

$$\begin{aligned}
 BNP_i &= l_i + \left[\frac{(u_i - l_i) + (m_i - l_i)}{3} \right] \\
 &= 32 + \left[\frac{(99 - 32) + (67 - 32)}{3} \right] \\
 &= 66
 \end{aligned}$$

Buna göre; ithalat iş taşıma sürecine ait ağ diyagramı *Şekil 4*



Şekil 4'deki gibi verilmiştir. İthalat iç taşıma sürecinin analizinde *Tablo 9* ve *Şekil 4*'de gösterildiği gibi I2,I3 ve I4 dışındaki bütün faaliyetler kritik yol üzerinde bulunduğu görülmüştür.



Şekil 4. İthalat iç taşıma süreci şebeke ağı

5. SONUÇ

Günümüzde ürünlerin gerek üretim gerekse ürünlerin tüketiciye ulaştırılması süreçleri teknolojik gelişmeler ve pazarın genişlemesi nedeniyle karmaşık bir yapıya sahip olmakla beraber, ulaştırma sürecinin verimli bir şekilde işleyebilmesi de ciddi bir planlamayı gerektirmektedir. Uzun mesafe ve kıtalararası taşımalarda ise önce bir ön taşıma süreci ile üretici/satıcıdan alınan ürünler ana taşıma noktası olan başlangıç limanına getirilir. Limanda uygun bir şekilde elleçlendikten sonra ana taşıma modu olan gemilere yüklenmekte ve yine varış son taşıma süreci ile limanından tüketici/alıcıya ulaştırılmaktadır. Dolayısıyla denizyoluyla taşımaya kadar, iç taşıma süreçleri de ciddi hassasiyet ve efor gerektirmektedir. Hiç kuşkusuz bu sürecin etkin bir şekilde yönetilmesi ancak süreçlerin önceden eksiksiz bir şekilde planlanmasıyla mümkündür. Faaliyetler planlanıp proje tamamlanma süresi ve kritik faaliyet ve sürelerin belirlenmesi ile bu sürecin yeniden koordine edilmesi mümkün olabilmektedir. Bu konunun önemine binaen çalışma, bir lojistik işletmesinin her bir müşterisinin iç taşıma sürecini takip ederken, oluşan iş faaliyetlerinin ayrı ayrı en iyi en kötü ve ortalama süreleri bulanık olarak verilmiş ve bulanık PERT yöntemi ile kritik faaliyetler,

yollar ve projenin tamamlanma süreleri deniz ihracat ve ithalat yükleri için ayrı ayrı bulunmuştur. Bu bağlamda ihracat sürecinde sadece müşteriden yükleme yerinin ve gününün sorgulanması, müşteriden yükleme yerinin teyidinin alınması ve ihracat rezervasyon onayı ve detayların temini; ithalat sürecinde ise ordino teslimi ve gümrük ambar onayı teyidi, müşteriden yükün çekilme gününün sorgulanması talebi ve müşteriden yükün çekilme gününün ve tahliye detaylarının teyidinin alınması faaliyetlerinin kritik olmayan faaliyetler olduğu görülmüştür.

İç taşıma operasyonundaki kritik faaliyetlerde meydana gelebilecek herhangi bir gecikme, operasyonun uzamasına sebebiyet verecektir. Ayrıca operasyonel sürecin zamanında ya da zamanından önce tamamlanması isteniyorsa, öncelikle kritik faaliyetlerde olmalıdır. Bu çalışmanın literatüre katkısı lojistik faaliyetlerin bulanık PERT yöntemiyle analiz edilerek lojistik iç taşıma sürecine uyarlanmasıdır. Gelecek çalışmalarda lojistik faaliyetler benzer şekilde süreç analizi, farklı yöntemlerle de kullanılarak analiz yapılabilir.

KAYNAKÇA

- ABDELBAR M.K., BOUAMI D. & ELFEZAZI S. (2019). "New approach towards formulation of the overall equipment effectiveness", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 25 Issue: 1, pp.90-127,
- AGHDAREH S.A., EGHBALI H. & AMADANDI M. (2019). Designing a risk management model for continuously reinforced concrete pavement (CRCP) using network analysis (October 27, 2019).
- BELLMAN. R.E. & ZADEH. L.A., (1970). "Decision-making in a fuzzy environment", *Management Science*. vol.17. no.4. pp.141-164.
- BERGQVIST R. & BEHREND S. (2011). "Assessing the effects of longer vehicles: the case of pre- and post-haulage in intermodal transport chains", *Transport Reviews*, 31:5, 591-602.
- BERQVIST R. & MONIOS J. (2016). "The last mile, inbound logistics and intermodal high capacity transport – the case of Jula in Sweden", *World Review of Intermodal Transportation Research* · July 2016, 6 (1): 74-92.
- CALP M.H. & AKCAYOL M. A. (2018). "Optimization of project scheduling activities in dynamic CPM and PERT networks using genetic algorithms", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* Cilt 22, Sayı 2, 615-627
- CARIS, A. & JANSSENS G.K. (2010). [A deterministic annealing algorithm for the pre- and end-haulage of intermodal container terminals](#), *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology* 2010 Vol.2 No.4
- CHANAS, S. (1982). Fuzzy sets in few classical operational research problems. In *Approximate Reasoning in Decision Analysis* (Eds M. M. Gupta and E. Sanchez), pp. 351-363. North-Holland, New York
- CHANAS S. & KAMBUROWSKI J. (1981). "The use of fuzzy variables in PERT", *Fuzzy Sets and Systems* 5 (1981) 11-19.

- CHEN C.T. & HUANG S.F. (2007). “Applying fuzzy method for measuring criticality in project network”, *Information Sciences* 177 (2007) 2448–2458.
- CHEN S.P. & HSUEH Y.J. (2008). “A simple approach to fuzzy critical path analysis in project Networks”, *Applied Mathematical Modelling* 32 (2008) 1289–1297.
- COLLIER Z.A., HENDRICKSON D., POLMATEER T.L., & LAMBERT J.H. (2018). “Scenario analysis and PERT/CPM applied to strategic investment at an automated container port”, *ASCE-ASME J. Risk Uncertainty Eng. Syst., Part A: Civ. Eng.*, 2018, 4(3): 04018026.
- DTO (2019) Denizcilik Sektör Raporu İMEAK Deniz Ticaret Odası, İstanbul,2019.
- ESCUADERO, A., MUÑUZURI, J., GUADIX, J., & ARANGO, C. (2013). “Dynamic approach to solve the daily drayage problem with transit time uncertainty”. *Computers in industry*, 64(2), 165-175.
- FUNKE, J., & KOPFER, H. (2016). “A model for a multi-size inland container transportation problem”. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 89, 70-85.
- GENCER C. & TÜRKBEY O. (2001). “PROJE tamamlanma zamanının bulunmasında istatistiksel analiz yardımıyla Bulanık-PERT, Klasik-PERT ve gerçek-dağılım yöntemlerinin karşılaştırılması”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 3 Sayı: 2 S. 29-39*.
- HABIBI F., BIRGANI O.T., KOPPELAAR H. & RADENOVIĆ S. (2018). “Using fuzzy logic to improve the project time and cost estimation based on Project Evaluation and Review Technique (PERT)”, *Journal of Project Management* 3 (2018) 183–196.
- HSIEH, T. Y., LU, S. T., & TZENG, G. H., (2004). “Fuzzy MCDM approach for planning and design tender’s selection in public office buildings”, *International Journal of Project Management*, 22(7), 573–584
- KAUFMANN, A. & GUPTA, M.M., (1988). *Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science*, North Holland, Amsterdam
- KAUFMANN, A. & GUPTA, M.M., (1991). *Introduction to Fuzzy Arithmetic*, Van Nostrand, New York,
- KOCABIYIK, E. (2009). *gemi inşa sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede PERT ve bulanık PERT uygulaması*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Sistem Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- KURTULUŞ, E. & ÇETİN İ.B. (2020), Analysis of modal shift potential towards intermodal transportation in short- distance inland container transport, *Transport Policy*, Volume 89, p. 24-37.
- LAUDARES, A.B., RICCO M.F.F & SANTOS, R.A.S. (2019). “When does it end? Monte carlo simulation applied to risk management in defense logistics’ procurement processes”, *Brazilian Journal of Operations & Production Management* 16 (2019), pp 149-156, ABEPRO, DOI: 10.14488/BJOPM. 2019.v16.n1.a14.

- LI R. J. & LEE, E. S., (1987). Ranking fuzzy numbers a comparison. Proc. of NAFIPS, May 5-7, West Lafayette, Indiana
- LI, L., NEGENBORN, R.R. & SHUTTER B.D. (2014) Receding horizon approach for container flow assignment in intermodal freight transport, [Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board](#) 2410(2410):132-140.
- MACHARIS, C., & BONTEKONING, Y. M. (2004). "Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review". European Journal of operational research, 153(2), 400-416.
- MAZLUM, M. (2014). CPM, PERT ve bulanık mantık teknikleriyle proje yönetimi ve bir işletmede uygulanması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- MCCAHERN C.S. & LEE E.S. (1988). "Project network analysis with fuzzy activity times", Computers and Mathematics Applications, 15 (10):829-838.
- ODIJK, M. (2009). Analyzing the pre-and end-haulage of maritime containers in collaborative networks. Master of Science in Operations Management and Logistics, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.
- OPRICOVIC, S. & TZENG, G.H., (2003). "Defuzzification within a fuzzy multicriteria decision model", International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems. 11, 635–652
- SACKEY, S & KIM, B.S. (2019). "Schedule risk analysis using a proposed modified variance and mean of the original program evaluation and review technique model", KSCE Journal of Civil Engineering (2019) 23(4):1484-1492.
- TAKAKURA, Y., YAJIMAA, T., KAWAJIRIA, Y., & HASHIZUMECA, S. (2019). "Application of critical path method to stochastic processes with historical operation data", Chemical Engineering Research and Design 149 (2019) 195–208.
- TATTERSON, J.W. & FWOOD, D.F. (1974). "PERT, CPM and the export process, OMEGA", The Int. JI of Mgmt Sci., Vol. 2, No. 3,421-426.
- VALERO, M.F., MENÉNDEZ, L.G., CARRAMOLINO, L.S. & PRUÑONOSA, S.F. (2011). "The importance of the inland leg of containerised maritime shipments: An analysis of modal choice determinants in Spain", Transportation Research Part E 47 (2011) 446–460.
- VANIČKOVÁ, R. (2019). "Changes in lifestyle of population and solutions in logistics of bakery products: practice in the Czech Republic", Advances in Economics, Business and Management Research, volume 78, 83-92, 11th International Scientific Conference "Economics, Management and Technology in Enterprises 2019" (EMT 2019)
- WIEGMANS, B. & KONINGS, R. (2013). "The performance of intermodal inland waterway transport: Modeling conditions influencing its competitiveness", WCTR 2013 Rio

13th World Conference on Transport Research 13-18 July 2013, Rio de Janeiro, Brazil.

ZADEH L.A., (1965). Fuzzy sets, Inform. Control 8 (3) 338–353.