

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

139723

LİMAN OPTİMİZASYONUNDA KULLANILAN
MODELLER ve HAYDARPAŞA LİMAN ÖRNEĞİ

139723

İnşaat Müh. Seyhan GÜLEZ

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programında
Hazırlanan

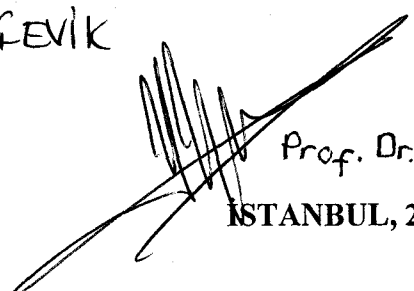
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Esin ÇEVİK

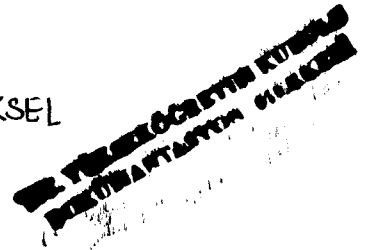


Doç. Dr. Esin ÇEVİK


Prof. Dr. Sedat KABDAŞLI


Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

İSTANBUL, 2003


YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iii
KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Liman Nedir?.....	1
1.2 Limanların Önemi.....	1
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	3
2. LİMANLARIN FONKSİYONLARI, GELİŞİM ETKİLERİ ve MALİYET.....	4
2.1 Limanların Fonksiyonları.....	4
2.2 Limanların Gelişimi.....	5
2.2.1 Ekonomik Gelişim Etkileri.....	5
2.2.2 Sosyal Gelişim Etkileri.....	5
2.2.3 Bölgesel Gelişim.....	8
2.3 Liman Maliyeti.....	9
3. LİMAN OPTİMİZASYONUyla İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....	13
3.1 Simülasyon Modelleri ile İlgili Çalışmalar.....	13
3.2 Optimum Liman Kapasitesi Çalışmaları.....	14
4. LİMAN PLANLAMASI ve OPTİMİZASYONU.....	16
4.1 Optimum Liman Boyutu.....	16
4.2 Önemli Liman Parametreleri.....	16
4.3 Kuyruk Teorisi ve Modelleri.....	20
4.3.1 Yanaşma Yeri Sayısının Belirlenmesi.....	26
4.3.2 Sıkışıklık ve Maliyetin Değerlendirilmesiyle Yanaşma Yeri Planlanması.....	28
4.3.3 Yanaşma Yeri Planlama Modellerinde Dağılım Varsayımlarının Değerlendirilmesi.....	31
4.3.4 Limanda Yanaşma Yeri Planlanmasında M/M/S Uygulaması.....	35
4.3.5 Kuyruk Formülleri.....	38
4.3.6 Teorik Olasılık Dağılımlarının Kontrolleri.....	42
4.4 Liman Simülasyon Modelleri.....	44
4.4.1 Benzeşim (Simülasyon) Nedir?.....	44
4.4.2 Planlama ve Kontrol Araçları Olarak Bilgisayar Benzeşim Modelleri.....	46
4.4.3 PORTSIM.....	47
4.4.4 UNCTAD Liman İşletim Modeli.....	51
4.4.5 MIT Liman Simülasyonu.....	57
4.4.6 HARSOL Liman Simülasyon Modeli.....	59
5. HAYDARPAŞA KONTEYNER TERMİNALİNİN KUYRUK ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	63
5.1 Haydarpaşa Limanı Genel Özellikleri.....	63
5.2 Gemi Geliş İstatistikleri ve Dağılımı.....	67
5.3 Gemi Liman Süreleri İstatistiği ve Dağılımı.....	70
5.4 Gemi Servis Süreleri İstatistiği ve Dağılımı.....	72
5.5 Yanaşma Yeri Yükleme/Boşaltma Değerlendirmeleri.....	75
5.6 İşletmelerine göre Sınıflandırılan Gemilerin Elleçleme Miktarları ve Servis Süreleri.....	76
5.7 Haydarpaşa Konteyner Terminali Bekleme Kuyruğu	

ve Gemi Trafığı Özellikleri.....	78
5.7.1 Haydarpaşa Limanının Bazı Özellikleri.....	78
5.7.2 Bekleme Kuyruğu Özellikleri.....	79
5.8 Yanaşma Yeri Sayısının Belirlenmesi.....	78
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	84
KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	89



SİMGE LİSTESİ

a	Ortalama varış oranı
b	Ortalama servis oranı
c_o	İşletme masrafları
c_q	Limanın birim uzunluğunun maliyeti
C_q	Yanaşma yeri maliyeti
C_s^T	Toplam maliyet
m_q, m_c, f_c, f_q	Rıhtım kreynlerinin bakım/onarım ve sermaye karşılama faktörü
M	Yanaşma yeri sayısı
N	Gemi sayısı
\bar{n}	Bir limanda mevcut ortalama gemi sayısı
n_a	Limana gelen gemilerin ortalama sayısı
n_b	Boş bir yanaşma yeri için bekleyen gemi sayısı
n_b	Mevcut yanaşma yeri sayısı
n_s	Limana gelen ya da servis verilen gemi sayısı
n_w	Servis verilen gemilerin ortalama sayısı
Q	Yıllık liman kapasitesi
t_a	Variş aralığı
T_b	Ortalama servis süresi
t_w	Bekleme süresi
T_w	Ortalama bekleme süresi
μ	Rıhtım kreyni sayısı

KISALTIMA LİSTESİ

FCFS	First Come First Served
FIFO	First In First Out
LIFO	Last In First Out
PORTSIM	Port Simulation
S.P.T	Shortest Processing Time First
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Hipotetik bir liman için toplam maliyet.....	11
Şekil 4.1 Erlang-k dağılımı	23
Şekil 4.2 t değerini aşan bekleme zamanındaki değişim	24
Şekil 4.3 Gemilerin herhangi bir süre bekleme olasılığının trafik yoğunluğu ve yanaşma yeri sayısı ile değişimi	39
Şekil 4.4 Beklemelerin $[P_w(Mt/T_b)]$ olma olasılığının Mt/T_b ve θ ile değişimi.....	40
Şekil 4.5 Bekleme süresinin servis süresine oranının (t_w/T_b) , yanaşma yeri sayısı (M) ve yanaşma yeri kullanım verimliliği ile değişimi.....	41
Şekil 4.6 Khi-Kare test grafiği.....	43
Şekil 4.7 Liman gelişim planlanması (UNCTAD).....	54
Şekil 4.8 Simülasyon programının fonksiyonları (UNCTAD).....	55
Şekil 4.9 Liman simülasyon modeli karar akışı (UNCTAD).....	56
Şekil 4.10 Simülasyon model mantığı (MIT).....	57
Şekil 4.11 Atama programı akış diyagramı (MIT).....	58
Şekil 4.12 Hayali bir liman için simülasyon çalışma sistemi.....	60
Şekil 5.1 Haydarpaşa Limanı Konteyner Terminali.....	64
Şekil 5.2 Haydarpaşa limanına gerçek ve teorik (Poisson) gemi geliş dağılımları.....	69
Şekil 5.3 Haydarpaşa limanına gerçek ve teorik (Poisson) gemi liman süresi dağılımları.....	71
Şekil 5.4 Haydarpaşa limanındaki gerçek ve teorik servis sürelerinin kümülatif dağılımları.....	73
Şekil 5.5 Haydarpaşa limanındaki değişik T_w değerleri için elde edilen ψ -M eğrisi.....	82
Şekil 5.6 Haydarpaşa limanı T_w -M grafiği.....	83

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 5.1	Haydarpaşa limanı gemi gelişleri.....67
Çizelge 5.2	Gerçek ve teorik (Poisson) gemi geliş dağılımlarının karşılaştırılması.....68
Çizelge 5.3	Haydarpaşa limanı için gemi liman süreleri.....70
Çizelge 5.4	Gerçek ve teorik (Poisson) gemi liman süresi dağılımlarının karşılaştırılması.....71
Çizelge 5.5	Haydarpaşa Limanı gemi servis (yanaşma yeri kullanımı) süreleri.....72
Çizelge 5.6	Gerçek ve teorik (Erlang) yanaşma yeri servis süresi dağılımlarının karşılaştırılması.....73
Çizelge 5.7	Servis süresi dağılımı için χ^2 testi sonuçları.....74
Çizelge 5.8	Haydarpaşa limanı yanaşma yeri gemi yük hareketleri.....75
Çizelge 5.9	Bayraklarına göre sınıflandırılan gemilerin sayıları ve elleçleme miktarları.....76
Çizelge 5.10	Bayraklarına göre sınıflandırılan gemilerin servis süreleri.....77
Çizelge 5.11	Haydarpaşa limanında $T_w/T_b = 0.581$ için M ve θ 'nın değişimi.....80
Çizelge 5.12	Haydarpaşa limanında çeşitli T_w/T_b değerleri için M ve θ 'nın değişimi.....81
Çizelge 5.13	Haydarpaşa limanındaki çeşitli bekleme süreleri için gereken en uygun yanaşma yeri sayıları.....83
Çizelge 6.1	Haydarpaşa limanı özellikleri.....86

ÖNSÖZ

Son dakikaya kadar çalışmalarına sabırla destek veren değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Sayın Esin Çevik'e ve tez çalışmamda vermiş olduğu fikirlerinden dolayı hocam Prof. Dr. Sayın Yalçın Yüksel'e teşekkür ederim. Ayrıca, Haydarpaşa Liman istatistiklerini elde etmemi sağlayan Terminal Büro Şefi Sayın Levent M. Meriçli'ye ve bu çalışmada emeği geçen herkese teşekkür ederim.



ÖZET

Ulaştırma, diğer bütün sektörlerle doğrudan etkileşim içinde olan bir sektördür. Bu yönüyle ulaştırma sektörü diğer sektörlerdeki gelişmeleri hızlandıran, yavaşlatan veya engelleyen sektör olma özelliğine de sahiptir. Ulaştırma sektörünün en önemli modlarından biri de deniz taşımacılığıdır. Deniz taşımacılığı büyük taşıma kapasitesi ve ucuzluğu nedeniyle doğru uygulandığında en uygun olandır ve dünya ticaret hacminde en büyük orana sahiptir. Türkiye yaklaşık 8333 km uzunluğundaki kıyı şeridiyle dış ticaretinin yaklaşık % 85'inin deniz yoluyla yapıldığı bir ülkedir. Liman taşıma zincirinin hayati bir bağlantısı olup, deniz ve karanın birleştiği noktadır.

Limn, sadece taşıma fonksiyonu değil aynı zamanda üretim fonksiyonuna da sahiptir. Bu fonksiyonların sonucu olarak ulusal ekonomilerin gelişmesinde son derece büyük olduğu limanların en optimum şekilde boyutlandırılması ve işletilmesi zorunludur.

Optimum liman boyutunun belirlenmesinde en önemli parametrelerden biri en uygun yanaşma yeri sayısının bulunmasıdır. En uygun yanaşma yeri sayısı, en uygun liman büyüklüğünü ve dolayısıyla en ekonomik yük taşımamı belirleyecektir.

Bu çalışmada, liman optimizasyonu ile ilgili parametreler tartışılarak optimum liman boyutu elde etmek için kullanılan modeller irdelenmiştir. Bunlar liman simülasyon modelleri ve kuyruk analizidir. Ayrıca Haydarpaşa Limanı konteyner terminaline ait 2002 yılı trafik verileriyle Kuyruk Analizi yöntemi uygulanmış ve limanda çeşitli ortalama bekleme sürelerini sağlayacak yanaşma yeri sayıları çizelge ve grafik olarak verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Optimizasyon, liman benzeşimi ve planlanması, bekleme kuyruğu teorisi, tıkanıklık, terminaller

ABSTRACT

Transportation sector is the sector which has a direct relation with the other all sectors. This sector also has the characteristic which accelerates or decelerates or blocks the developmants of others. One of the important modes of transportation sector is sea transportation. Marine transportation is the cheapest one due to a huge dimension of transportation capacity when applied truly and also it has the biggest volume in the world trade. Turkey has 8333 km cost line and % 85 of its international trade volume is done by sea transportation. Seaport which is a connection point of sea and land is very important milestone of transportation chain.

It has not only the transportation function but also production one. As a result of these functions, ports are very important on the development of national economy. Since the seaport has a great dimension of invsetment of construction it must be planned and operated in an optimum way.

One of the important parameters to determine the optimum seaport dimension is to find a suitable number of berth. The most suitable number of berth determines the most suitable seaport area and hence the most economic transportation.

In this study, the parameters relatad to seaport optimization and the models to determine optimum seaport size were discussed. This are liman simulation models and Queing Analysis. In addition, Queing Analysis Method about traffic data of 2002 has been applied for Haydarpaşa Port container terminal and number of berths to ensure various avarage waiting times in the port are shown on a table and a graph.

Key words: Optimization, harbor simulation and planning, queueing theory, congestion, terminals

1. GİRİŞ

1.1 Liman Nedir?

Yük ve yolcu yükleme/ boşaltma hizmetlerinin verilebilmesi için gemilerin yanaştığı, terminal faaliyetlerinin, transit sundurmalarının, depolar ve diğer depolama alanlarının bulunduğu, yollar, karayolları, demiryolları ve iç su yolları bağlantılarının sağlandığı korunaklı bölgelere liman denir. Kısaca, liman ulaşım ağında bir düğüm noktası ve ulaşım zincirinin bir parçasıdır. Gemi ve kıyı arasında mal transferini sağlayan bir kapıdır.

1.2 Limanların Önemi

Limanların kurulması M.Ö. 3500 yıllarına kadar dayanmaktadır. Akdeniz ve Ege denizinde Giritliler, Fenikeliler ve Yunanlılar öncelikle, akşam olunca teknelerini karaya çekebilecekleri tabii limanları geliştirmiş, hatta Romalılar gemi inşaatı amacı ile büyük havuzların inşasına bile girişmişlerdir. İskenderiye limanı ve bunun meşhur feneri bu devirde inşa edilmiş olan dünyanın sayılı yapılarından. İstanbul da Fenikeliler zamanında liman olarak kullanılmaya başlanmıştır. Gelişmekte olan pek çok ülkede, ilk aşamada çok sayıda dağınık ve küçük limanlar varken 18. yüzyıldan sonra iç bölgelere nüfuz etme olanağını sağlayan ulaşım bağlantılarıyla gelişmiş limanlar yoğunlaşmıştır. Limanda iç bölgeye bağlantıların yapılma nedeni genellikle idari, askeri zorluklar ile tarımsal ürün veya endüstri için gerekli hammadde kaynaklarına erişilme istekleridir. Ulaşım ağlarının gelişmesine nüfus yerleşme alanı büyüklüğü, tarım, endüstri, fiziksel çevre ve ticaret faktörleri etkilidir (Yüksel vd., 1998).

Taşıma endüstrisi ülkelerin ekonomik gelişmesinde en etkili parametrelerden biridir. Deniz taşımacılığı, büyük taşıma kapasitesi ve ucuzluğu nedeniyle doğru uygulandığında en ucuz olanıdır ve dünya ticaret hacminde en büyük orana sahiptir.

Liman, taşıma zincirinin hayati bir bağlantısı olduğundan limanın yetersizliğinden dolayı, liman içinde yük akışını yavaşlatacak hiçbir engel olmamalıdır.

İthal ya da ihraç edilen malların karayolu ya da demiryolu ile taşınmasının deniz yolu ile taşınması karşılaştırıldığında çok pahalıdır. O halde dış ticaret taşımacılığının büyük bir kısmı deniz yolu taşımacılığı ile yapılması çok daha ekonomiktir.

Limanlar, sadece bölgesel ve uluslararası ticareti değil aynı zamanda endüstriyel aktiviteleri arttırmakta ve limanların faaliyetlerinin artması gelişmekte olan ülkelerin gelişmesinde

önemli bir rol oynamaktadır. Bundan dolayı planlama ve limanların gelişimi dünya ekonomisinde geniş yer almaktadır.

Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili bir ülke olmasına rağmen uygun bir şekilde kullanılmayan çok uzun bir sahil şeridine sahiptir. Mevcut limanların yetersizliği Türkiye ekonomisini olumsuz yönde etkilemekte ve kuyruklarda gemilerin beklemesine neden olmaktadır. Kuyrukta bekleyen gemiler için bekleme maliyeti çok yüksektir. Bu yüzden, yeni limanlar için optimum boyutların belirlenmesi ya da varolan limanların en efektif şekilde kullanılması ya da genişletilmesi gereklidir.

Ancak son zamanlarda kamu ve özel sektörün faaliyetlerinin artması, deniz ticaretinin gelişmesinde oldukça etkili olmuştur.

Limanların yeterliliğinin yükleyiciler, armatörler ve dünya ekonomisi için büyük bir önemi vardır. Hem gemi hem liman fiyatlarının çok pahalı olmasından dolayı bunlardan maksimum şekilde faydalanılmak istenmektedir. Gemilerin uzun kuyruklar yaratmaksızın liman faaliyetlerinin maksimum kullanımını sağlamak veya tam tersi oldukça zordur. En ideal çözüm; *bir liman öyle planlanmalıdır ki tüm yanaşma yerleri her zaman dolu olmalı ve hiçbir zaman boş bir yanaşma yeri için bekleyen gemi olmamalıdır.*

Yapı yatırımlarında büyük maliyetlerin bileşenleri olan boş yanaşma yeri maliyeti ve gemilerin bekleme maliyeti (demoraj) dikkate alınarak, mevcut ve gelecekteki talep için optimum liman boyutunun belirlenmesi, bazı yöntemler kullanılarak tüm maliyet parametrelerinin dikkate alınmasıyla hassas bir şekilde yapılmalıdır.

Çözümü etkileyen temel faktörler aşağıda verilmiştir:

- i) Geminin varış oranını belirleyen gemi trafik modeli, gemi büyüklüğü ve gemi tarafından taşınan kargonun miktarı
- ii) Rıhtım uzunluğu ya da yanaşma yeri sayısı
- iii) Yükleme/boşaltma ekipmanının sayısı ve kapasitesi

Optimum liman boyutu elde etmek için kullanılan yöntemler; kuyruk teorisi, optimum liman kapasitesi ve liman simülasyon yöntemleridir.

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, limanların optimizasyonunda kullanılan kuyruk teorisi ve liman simülasyon modellerini incelemek ve liman optimizasyonu ile ilgili parametreleri ele almaktır. Konunun genel olarak sunulduğu giriş bölümünde limanın tanımı yapılmış ve limanın taşıma endüstrisindeki önemi üzerinde durulmuştur.

İkinci bölümde; limanın fonksiyonları ve bulunduğu bölgedeki aktiviteyi artırmasının bir sonucu olarak değişik alanlarda gerçekleşen gelişim etkileri (ekonomik gelişim etkileri, sosyal gelişim etkileri, bölgesel gelişim) verilmiştir. Ayrıca, liman maliyeti hesaplaması ve liman planlamasında maliyetin önemi anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde; liman simülasyonu ile ilgili olarak literatür özeti verilmiştir.

Dördüncü bölümde; bir limanın planlamasında son derece önemli olan optimum liman boyutundan “Optimum Liman Boyutu” başlığı altında genel olarak bahsedilmiş, daha ayrıntılı bir biçimde ise “Kuyruk Teorisi” bölümünde anlatılmıştır. Limanın optimizasyonunda kullanılan kuyruk teorisi formülleri verilmiştir. Simülasyonun tanımı, açıklaması yapılmış ve liman simülasyon modelleri sınıflandırılarak anlatılmıştır. Ayrıca, önemli liman parametreleri sıralanmıştır.

Beşinci bölümde; Haydarpaşa konteyner terminalinde kuyruk analizi çalışması yapılmıştır. Haydarpaşa limanına ait temin edilebilen veriler düzenlenerek, gemi geliş, gemi liman süreleri, gemi servis süreleri istatistiği ve dağılımı hesaplanmıştır. Ayrıca yanaşma yeri Yükleme/Boşaltma değerlendirmeleri verilmiştir.

Altıncı bölüm, yapılan çalışmalarla ilgili sonuçlar, gelecek çalışmalar için birtakım öneriler içermektedir.

2. LİMANLARIN FONKSİYONLARI, GELİŞİM ETKİLERİ ve MALİYET

2.1 Limanların fonksiyonları

Liman, üreticiyle tüketiciyi bağlayan uzun bir taşıma zincirinin hayati bir bağlantısıdır. Gemiler ve diğer ulaşım araçları arasında emniyetli kargo transferi ve yolcular için mevcut ekipman ve elverişli altyapının olduğu servis durumlarını belirler.

Denize kıyısı olan hemen hemen her ülke, genellikle çeşitli büyüklüklerde bir tür liman sistemine sahiptir. Günümüz limanları, dış ticaret için hayati bağlantıyı sağladığından dolayı, kıyı şeridinde sahip ülkelerin ekonomisini ilerletmede önemli rol oynamaktadır. Liman ülkeleri politik bağımsızlığı olan milletlerin ekonomik bağımsızlığına katkıda bulunur ve ticarete stratejik bir rol oynar.

Limanlar ülkelerin ekonomik ilerlemesini doğrudan etkileyen uluslararası ticaretin ilerlemesinde önemli bir rol oynadığından dolayı, sürekli olarak modernize edilmeli ve ticaret hacmini arttırmak ve buna uygun liman kapasitesini sağlamak için genişletilmelidir. Daha sonra, gerekli her bir limanın gelişimi taşıma yöntemlerindeki en son değişimler de göz önünde bulundurularak kapsamlı bir şekilde planlanmalıdır.

Liman bulunduğu bölgede temeldir ve bölge gelişimiyle doğrudan ilişkili olduğundan bölge limanları planlar. Liman, deniz ve kara taşımacılığı arasında bağlantı noktasıdır. Liman bölgesinde demiryollarını, karayollarını, yük elleçleme endüstrisini, ambarlar ve diğer depolama tesislerini yoğunlaştırır. Yan sanayinin gelişebildiği, istihdam ve vergi gelirinin arttırılabildiği yerlerde endüstriyel bir liman olarak tasarlanır. Şehrin kendi gelişimi, çevresel tesisler, atık maddelerin atılması v.b. aktiviteler liman içinde planlanabilir. Liman yerel halkın ilgisinden dolayı bu şekilde kullanılır. Bu konuya dayanarak, yerel halk ve liman arasında iyi ilişkiler kurulabilir.

Liman kara ve deniz taşıma sistemleri arasında devam eden akış transferini sağlamalıdır. Böylece limanlarda hem gemideki hem de karadaki elleçleme ekipmanları ve bunların uygunluğu dikkate alınmalıdır.

2.2 Limanların Gelişimi

2.2.1 Ekonomik Gelişim Etkileri

Ekonomik gelişim etkileri dağıtım maliyetlerinin azalmasını içeren "*doğrudan ekonomik etkiler*"; yerleşim ve dağıtım gelişimi, işleme ve çeşitli diğer endüstriler ve bu endüstrilerin dolaylı etkilerinden oluşan bölgesel gelirlerdeki artışlardan meydana gelen "*bölgesel ekonomik etkiler*"; ve ulusal ekonomik aktivitelerden ve ulusal gelirlerdeki artışlardan oluşan "*ulusal ekonomik etkiler*" olarak sınıflandırılabilir.

Bir ticaret limanında doğrudan ekonomik etkiler, tesislerin kullanılmasından gelen faydalarla açık bir şekilde görülmektedir. Bölgesel ekonomik gelişmeler, dağıtımın akılcı bir yöntemle yapılmasından dolayı bölgesel endüstriyel gelişmelerden anlaşılmaktadır. Liman aktivitesinin ekonomik gelişimi arttırmasının sonucu olarak bu durumdan yalnızca bölge insanı değil tüm ülke insanı yararlanır.

Bölgesel ekonomik etkiler ve ulusal ekonomik etkiler yeni gelişmiş endüstriyel limanlarda çok açık bir şekilde görülebilir. Endüstriyel limanlarda endüstri kuruldukça ve geliştikçe, iş fırsatları, endüstri ve ortalama gelirler artmaktadır. Bu gelişmeler, sırasıyla diğer endüstrileri tetiklemektedir ve böylece bölgesel ekonomi ve milli ekonomiyi de arttırmaktadır.

"Doğrudan ekonomik etkiler" tesislerin iyileştirilmesinden önceki ve sonraki taşıma maliyetinin tahmini ve daha sonra bu maliyetlerin farkının hedef alınan yıllık yük miktarıyla çarpılmasıyla tahmin edilebilir. Bölgesel ekonomik etkileri ve ulusal ekonomik etkileri tahmin etmek için ekonomide farklı yöntemler vardır, ancak birçok karmaşık faktör yüzünden uygulamak zordur. Bu yüzden, dolaylı etkilerin hesaplanması hiç de kolay değildir.

2.2.2 Sosyal Gelişim Etkileri

"Sosyal gelişim etkileri" bölgesel gelişim politikalarındaki ve ulusun gelişimindeki etkilerden meydana gelir. Sosyal gelişim etkileri sırasıyla "topluluk etkileri" ve "ulusal kara gelişim etkileri" olarak belirtilir.

Topluluk etkileri ve ulusal gelişim etkilerinin limanı ne kadar etkilediğini sistematik olarak tanımlamak zordur.

Liman yapı planları kıyı bölgelerinin içi veya kıyı bölgelerinin dışı için hesaplanır. Dış kıyı bölgeleri özellikle iç bölge ihtiyaçlarına gerek duymadan planlanabilir. Bu durumda,

hinterland bağlantısının şehre ait belirli problemleri (yerleşim, atıkları yok etme, trafik sıkışıklığı ve tekrar gelişim) liman planının bir parçası olarak tasarlanabilir.

Böylece, limanların, nüfusun ve endüstrinin düzenlenmesine ve mükemmel liman şehirlerini oluşturmaya yardımcı olmasıyla, bölgesel gelişim politikası ve ulusun önemli bir parçası olduğu söylenebilir. Liman gelişiminin potansiyel karı aşağıda verilmiştir:

- Ulusal gelişim etkileri

Nüfus ve endüstrilerin düzenlenmesinin sınıflandırılması

- Topluluk etkileri

Yaşam standartlarının gelişmesi

Eğitim, kültür, tıbbi bakım ve sağlık için ve dinlenme boş vakit eğlenceleri için fırsatların artması

- Üretim standartlarının gelişmesi

Endüstriyel yapının sağlamlığı ve ilerlemesi

- Çevresel alanın oluşturulması

Yerleşim hisseleri, yeşil alanlar ve atıkları arıtan fabrikalar

- Emniyet sigortası

Trafik faaliyetleri için alan

Bu etkiler, doğrusal liman gelişimini getirmez fakat uygun bir plana göre kazancın gelişmesi ve diğer alt yapının sağlanması gibi oluşumları meydana getirir. Bunun anlamı, liman diğer gelişimleri teşvik eder.

Hükümetler, ulusal geniş kapsamlı gelişim planıyla uyumlu olan kendi yerleri için belirli bölge planlarını düzenler. Daha sonra, çeşitli alt yapıları ve en etkin bölge oluşumunu gerçekleştirmek için planlama yapılır ve koordine edilir. Bu planlarda, limanlar stratejik yerler olarak ve tesislerin ilerlemesinin yapılandırılmasında her zaman dikkate alınır. Limanlar, kapsamlı bir planın oluşturulmasıyla ve topluluk etkileriyle doğrudan doğruya ve sistematik olarak birbirine bağlamak zor olmasına rağmen, bu etkiler hesaba alınabilir.

Gelişmekte olan tüm ülkelerde geçerli olan genelleştirmeyi yapmak zordur. Çünkü her ülkenin politik yapısı ve idari sistemleri, doğal ve topografik durumları, tarihi geçmiş ve sosyal yapıları farklıdır. Başka bir deyişle, gelişmekte olan ülkelerde yaygın olan problemler, hızlı nüfus artışı, yiyecek kıtlığı, düşük maliyet ve kısıtlı iş imkanlarını içerir. Bu ülkelerin

ana kente ait asıl bölgeleri ve başkentleri özellikle yerleşim ve yiyecek sıkıntısı ve yetersiz taşıma sistemiyle problem yaşamaktadır.

Yatırımların büyük boyutunu düşünerek, planlayıcılar bir liman planlanmasına önem vermelidir.

Asıl üç görev belirlenebilir:

- a) **Ulusal liman planlaması:** Bazı politik kararların öncülük ettiği ve her bir limanın rolünü belirleyen ulusal liman planlaması, en ekonomik davranışta kullanılan ulusal kaynakları garanti eder.
- b) **Liman master planlaması:** Bu gelişimde yerini alacak her bir adımda zamanı belirtmeksizin bir liman için uzun dönem gelişim modelini verir. Daha sonra ihtiyaç duyulan işi teklif etmede kullanır.
- c) **Liman tasarım planlaması:** Burada amaç, doğru zaman ve doğru biçimde master planının bir parçasına dönmektir.

Ulusal liman planlarının hazırlanmasında göz önüne alınan faktörler, deniz trafik taşımacılığı için milli taleplerin tahmini, varolan limanların gözden geçirilmesi ve mevcut deniz trafiği için taşıma anlamının ulusal olarak gözden geçirilmesidir.

Hem ulusal liman master planı hem de gerekli limanlara master planı hazırlamak için, planlayıcı her bir liman işletimini içinde bulunduran gelişim yapısını belirlemeye ihtiyaç duyar. Bunu yaparken aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır:

- a) Aşağıda verilen görevlerden bazılarını veya tümünü içerebilen limanın rolü
 - i) Tüm ihtiyaçlar veya özel yükleri için toplamda her birini trafik tahminleriyle yansıtmak gibi hinterland bağlantılarının uluslararası ticarete hizmet vermek
 - ii) Genelleştirilen ticaret ve bölgesel endüstriyel gelişime yardımcı olmak
 - iii) Geleneksel olarak servis vermeyen uzak hinterland bağlantıları veya komşu kara bağlantılarının kapalı olduğu ülkeler için geçiş faaliyetlerini sağlamak
- b) Altyapı ihtiyaçları için liman sorumluluğunun yayılımı aşağıda verilmiştir.
 - i) Kıyıdan yanaşma yerine kadar toplam olarak ele alınabilen liman durumu, iç liman, nehir kanal yaklaşımlarından veya büyük liman çalışmalarının finansmanından hariç tutulabilir.

- c) Tam olarak kendilerini reklam üzerinden finansa edilebilen ve gerekliyse gümrük vergisi koymakta serbest olan veya pazarlama uygulamasındaki bir sınırlamaya bağlı olarak gümrük politikasındaki sınırlamaları koyabilen veya ulusal gelişimin bir unsuru olarak halk kontrolünü sağlayabilen limanla ilgili parasal politika

Uzun-dönem planı, ne kadar eğilimler göstermekte görüldüğünden daha çok ne kadar talep edildiği üzerinde daha fazla etki ortaya koyacaktır. Planlayıcı bu 20 yıl ve mevcut durumda bulunduğu tamamının açık bir resmini çizmeye çalışsa bile kendisini geleceğe göre hazırlamak ister.

2.2.3 Bölgesel Gelişim

Bir ülkenin ekonomik ve sosyal gelişim planlarını hazırlamada önemli yaklaşımlardan biri, hızlı uygulanabilirliğinden dolayı bölgesel gelişimdir.

Taşıma sistemi bir ülkede ekonomik işlemlerde önemli faktörlerden biri olduğundan, bölgesel taşıma sistemi iki yönlü ihtiyaç malzemelerinin (ham madde endüstri ve tarımsal ürünler) gelişme projesi çerçevesinde önceden belirlenmiş merkezler ve limanlar ile bölge dışındaki bağlantı noktaları arasında mümkün olduğu şekliyle planlanmalıdır. Bu malzemeler bu noktalar arasında en etkin ve en ekonomik yönden yerine ulaştırılmalıdır.

Taşıma sisteminde merkezi ve liman taşıma bağlantı noktaları (otoyol ve demiryollarıyla sağlanan bölge içine ve dışına) planlı yük hacmiyle orantılı olarak analiz edilmeli ve geliştirilmelidir.

Limanların tasarımında, liman ve merkez arasındaki taşıma ağı, bölgenin doğal kaynakları, üretim için gerekli ham madde kaynağı, işlenmiş maddeye olan ihtiyaçtan dolayı düşünülmelidir. Limanlar taşıma sisteminde önemli bir rol oynar.

Bölgesel Gelişim Projesinin asıl parametreleri aşağıdaki listedeki şekliyle düşünülmelidir.

- Küçük ölçekte endüstri yatırımları
- Büyük ölçekte endüstri yatırımları
- Turizm
- Doğal kaynaklar (maden, kömür)
- Balıkçılık ve stok
- Küçük işler v.b

Bölgesel gelişim planının içeriğinde, bu parametreler yeni çalışma alanları, sağlık ve eğitim için yeni yatırımlardan mümkün olanaklarını sağlamada bölgedeki yaşam standartlarını yükseltmek için sosyal avantajlar sağlayacaktır.

Büyük ölçekli ekonomik gelişim sadece tarım ve balıkçılık sektörlerine değil aynı zamanda büyük ve küçük ölçekli endüstri işlerine bağlıdır. Bu da sadece bölgesel bakışta bütün yatırımların bütünleşmesiyle mümkündür. Böyle bir planlamada en aktif parametre bölge içine ve dışına taşımadır.

Endüstri bölgesinden veya herhangi bir üretim alanından ihtiyaç duyulan malzemelerin küçük ve büyük hacimlerde depolama ve dağıtım alanlarına aktarımı sadece kara (demiryolu, otoyol) ve deniz (limanlar) taşımasından meydana gelen doyurucu bir taşıma ağıyla mümkündür.

Böylece en etkin ve en hızlı iletim sağlanır. Endüstri bölgesine ham madde ve işlenmiş malzeme ve diğer bölgesel ürünleri bölge içine ve dışına taşıma bu tür projenin önde görülen önemli kısmıdır.

Bölgesel gelişim projelerini hazırlama süresince özellikle gelişmekte olan ülkelerde, endüstriyel yatırımların planlanması ve uygulanabilirliği yönetim ve politik yapılar, doğal ve coğrafi koşullar, kültür farkı, sosyal yapı ve toplanmış analizlerin gerçekleşmesine bağlıdır.

Gelişmekte olan tüm ülkelerde, nüfuzda hızlı bir artış, ekonomik dar boğazdan dolayı sınırlı yatırım imkanları, var olan alt yapının ve taşıma ağının yetersizliği mevcuttur. Bunlar aşağıda verilen hususlardan oluşur:

Otoyol bağlantısı

Demiryolu bağlantısı

Limanlar

Bu problemlerin üstesinden gelmek için, gelişim planları yatırım ihtimalleriyle birlikte eşzamanlı olarak oluşan tüm parametreleri göz önünde bulundurmalıdır.

2.3 Liman Maliyeti

Mevcut kapasite ve ilerideki gelişmeler için yeterli bir limana sahip olmada gemi ve liman maliyetlerinin tüm elemanlarını dikkate alarak ritim ile gemi arasındaki en ekonomik yük transferini sağlayacak optimum bir trafik kapasitesi elde edilmelidir. Liman planlayıcıları ve işletmecileri liman tesislerinin inşaatında son derece hassas değerlendirme yapmalıdırlar.

Herhangi bir limanda, dikkate alınan maliyet, liman maliyeti ve gemi maliyeti olmak üzere temelde iki farklı maliyetten oluşmaktadır.

- a) Liman maliyeti, rıhtım maliyetini ve ekonomik ömrünü, faiz oranı, amortismanı içeren ekipman maliyetini ihtiva eder. Rıhtımın ekonomik ömrü 40 yıl, sermaye karşılama faktörü %15.5 ve bakım onarım maliyeti ise rıhtım maliyetinin %2.5'i olarak alınır. Benzer şekilde rıhtım kreynlerinin ekonomik ömrü 25 yıl alınır ve sermaye karşılama faktörü %15 bakım onarım maliyeti, kreyn maliyetinin %7.5'i olarak alınır.
- b) Gemi maliyeti, gerekli yanaşma yeri için geminin bekleme maliyetidir.

a ve b'de verilen oranlar kullanılarak yanaşma yerinin yıllık maliyeti aşağıdaki gibi formülleştirilebilir.

$$C_q = L_q * c_q (m_q + f_q) + \mu * c_c (m_c + f_c) + c_o \quad (2.1)$$

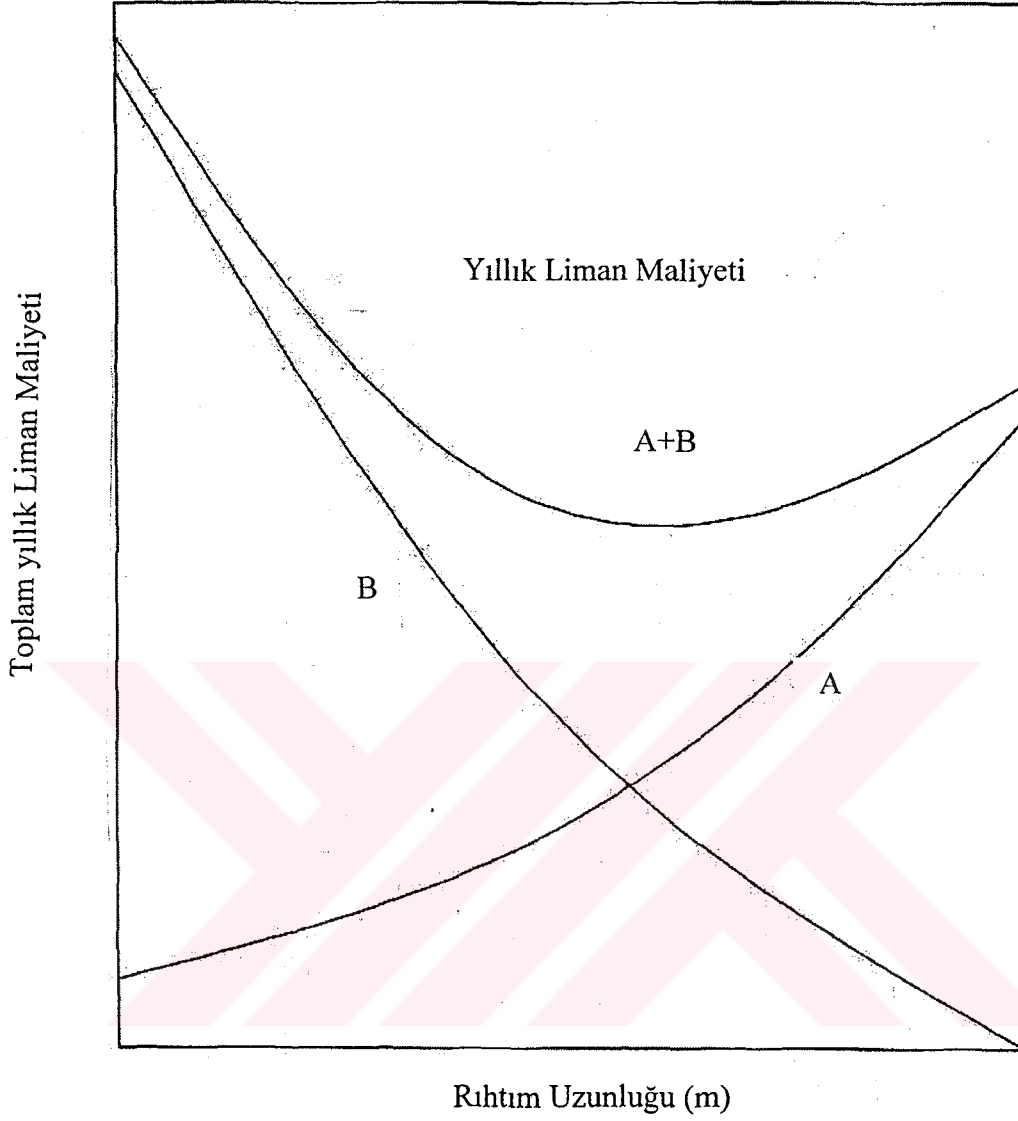
Burada L_q rıhtım uzunluğu, c_q yapının birim uzunluğunun maliyeti, μ rıhtım kreyn sayısı, c_c rıhtım kreynlerinin maliyeti ve m_q , m_c , f_q , f_c sırasıyla rıhtım kreynlerinin bakım/onarım ve sermaye karşılama faktörü, c_o işletme masraflarıdır. Formül UNCTAD tarafından önerilmiştir (Özkan, 1989).

Boş bir yanaşma yerinin maliyeti, bir gemi için bekleyen yapının maliyetidir. Bu değer limanların özelliklerine göre limanlar arasında çeşitlilik gösterir. Gemi maliyeti ise uygun bir yanaşma yeri için bekleyen geminin maliyetidir. Yine limanda uygun bir yanaşma yeri için bekleyen geminin maliyeti geminin tipine ve büyüklüğüne göre değişmektedir.

Bir limanın minimum toplam maliyeti; uygun bir yanaşma yeri için geminin bekleme maliyeti artı boş yanaşma yerinin ve ilgili faaliyetlerin yıllık maliyetinin minimum olduğunda elde edilir.

Yıllık maliyet eğrileri yanaşma yeri uzunluğunun bir fonksiyonu olarak (ya da yanaşma yeri sayısı M) Şekil 2.1' de gösterilmektedir. Şekilde "B" eğrisi için gemilerin yıllık bekleme maliyeti rıhtım uzunluğunun artmasıyla azalmakta fakat aynı zamanda rıhtım kullanım oranı derecesi azalmaktadır. Bununla birlikte rıhtım uzunluğu arttıkça limanın faaliyetlerinin yıllık maliyetleri "A" eğrisindeki gibi artmaktadır.

Toplam maliyet eğrisi, bu iki eğrinin süperpoze edilmesi ile elde edilmektedir. Minimum toplam maliyet ve böylece optimum rıhtım uzunluğu (rıhtım sayısı) eğrinin eğiminin sıfır olduğu yerdir.



Şekil 2.1 Hipotetik bir liman için yıllık toplam maliyet (Özkan, 1989)

Yıllık liman maliyeti en iyi şekilde (2.1) eşitliği ile ifade edilir.

$$C_s^T = c_b TS + c_s T \bar{n} \quad (2.2)$$

burada C_s^T , T periyodunda S adet yanaşma yeriyle liman toplam maliyeti, c_b yanaşma yerinin günlük maliyeti, c_s bir geminin günlük maliyetidir ve \bar{n} limandaki ortalama gemi sayısıdır.

Toplam maliyet C_s^T , optimum ekonomik liman için aşağıdaki eşitsizlikleri sağlamalıdır.

$$C_s^T < C_{s+1}^T \quad (2.3)$$

$$C_S^T < C_{S-1}^T \quad (2.4)$$

Bunun anlamı, yanaşma yeri maliyeti yanaşma yeri girdisinden az olana kadar yanaşma yeri sayısının artırılması gerektiğidir.



3. LIMAN OPTİMİZASYONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

3.1 Simülasyon Modelleri ile İlgili Çalışmalar

Oymak (1971) bilgisayar simülasyon programı yardımıyla optimizasyon işlemiyle ekonomik proje kriterleri üzerine bir çalışma yapmıştır. Yükün taşınması ile limanın apron bölümünün maliyetlerini dikkate almıştır. Bu çalışmada Mersin ve İskenderun Limanlarına ait verileri kullanarak bir uygulama yapmıştır.

Hansen (1972) ekonomik optimum liman büyüklüğünü bulmak için iki adet bilgisayar simülasyon modeli geliştirmiştir. Bunlardan biri sabit sayıda yanaşma yeri ve bir diğeri değişken sayıdaki yanaşma yeridir. Değişken yanaşma yeri sayısı rıhtım uzunluğunda %10-15 azalma ve toplam maliyetinde azaldığını göstermiştir. Araştırma aynı zamanda ekonomik optimum liman büyüklüğü üzerine bazı parametrelerin etkisini analiz etmiştir.

World Bank (1974) Port Simulation Model (PORTSIM) olarak isimlendirilen ve herhangi bir limanı benzeştirebilen bir simülasyon modeli geliştirmiştir.

Şendil ve Altan (1976) gemi transit ve bekleme sürelerini, yanaşma yerleri kullanım oranını ve limandaki ortalama gemi sayısını hesaplayan bir bilgisayar simülasyon programı kullanmışlardır. Farklı kuyruk önceliği politikalarıyla limanın toplam maliyetini simülasyon programı yardımıyla belirlemişlerdir.

Kozan (1977) İstanbul Limanı için farklı genişletme planlarını analiz etmek amacıyla bir simülasyon modeli geliştirmiş ve kullanmıştır. Araştırmacı, gemi bekleme ile genişleme maliyetleri arasındaki ilişki ile optimum dengeyi belirlemeye çalışmıştır.

Cantekin (1984) Mersin Limanı verileri için analitik metot ve bilgisayar simülasyon modeli yardımıyla sıkışıklığın değerlendirilmesi, optimum kapasitenin ve yanaşma yeri sayısının belirlenmesi için bir çalışma gerçekleştirmiştir

Bayraktar (1985) limanların en önemli sorunu olan tıkanıklık ve sebepleri üzerinde durmuş ve tıkanıklığın azaltılması veya önlenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Bir limandaki tıkanıklığın değerlendirilmesi en uygun yanaşma yeri sayısının belirlenmesi için kullanılan Kuyruk Analizi yöntemi üzerine çalışmış ve Salıpazarı Limanı'na ait istatistik değerleri kullanarak 1983 yılı liman trafiği için bir uygulama yapmıştır.

Özkan (1989) gemi bekleme maliyeti ve liman yatırım maliyeti arasında optimum dengenin bulunmasıyla liman işletimini ve tasarımını optimize etmek için HARSOL liman simülasyon

modelini kullanmıştır. Simülasyon modeli; ekonomik optimum liman boyutunun belirlenmesinde belirli bazı parametrelerin hassasiyetini analiz etmiştir.

Ergin ve Yalçın (1992) limanın planlama aşamasında ekonomik optimum liman büyüklüğünde etkili parametreleri kullanarak bir liman simülasyon yazılımı oluşturmuştur.

Karaslan (1993) HARSOL liman simülasyon modelini değiştirerek rıhtım uzunluğu ve hem büyüklüğünü hem de sayısını benzer şekilde değiştirebilen elleçleme ekipmanının optimum birleşimiyle gerçek toplam yıllık liman maliyetini minimize etmek için bilgisayar simülasyon modeli (SERCG) geliştirmiştir.

Yalçındağ (1994) (SERCG) kullanarak maliyet parametreleri; rıhtım maliyeti, kreyn maliyeti ve gemi maliyetinde hassasiyet analizini gerçekleştirmiştir.

Güler (1996) Liman planlanmasını, işletmesini, gemi bekleme maliyetleri ile liman büyüklüğündeki dengenin en uygun hale getirilmesini belirlemeye çalışmıştır. Bu amaçla SIMPORT'96 bilgisayar benzeşim modelini kullanarak Kardemir Limanı'na yönelik bir uygulama yapmıştır.

3.2 Optimum Liman Kapasitesi Çalışmaları

Fratar, Goodman ve Brant (1961) yanaşma yeri kullanım şekilleri üzerine ve maksimum yanaşma yeri kullanımının belirlenebilmesi için gözlenen ve teorik frekans dağılım fonksiyonlarını kullanarak bir yöntem geliştirmişlerdir.

Plumlee (1966) liman büyüklüğü probleminin çözümü için önemli olan gemi dağılım modeli üzerine çalışmıştır. Gerçek gemi dağılım modeli Poisson dağılımı kullanarak elde edilen teorik dağılım ile karşılaştırılmıştır. Çalışma, aynı zamanda farklı zamanlar için gemi sayılarının özel bir analizini de içermektedir. çeşitli zaman adımları için gemilerin sayılarını gösteren özel bir analiz içermektedir. Genelde, Plumlee'nin buluşları, Fratar, Goodman ve Brant tarafından bulunan sonuçlarla uyum sağlamaktadır. Plumlee aynı zamanda optimum yanaşma yeri sayısı üzerine de çalışmalar yapmıştır.

Araştırmacı, yanaşma yeri kullanım oranı üzerine de çalışmış ve verilen yanaşma yeri sayısı için boş gemi maliyeti ve boş yanaşma yeri maliyeti arasındaki oranın değişmesiyle optimum yanaşma yeri kullanımının önemli ölçüde değiştiği belirlenmiştir.

Jones ve Blunden (1968) gemi varış oranları dağılımını analiz etmiş ve varış oranlarının iyi eksponansiyel fonksiyon yardımıyla ifade edildiğine karar vermiştir. Servis süresi, $K=3$ olan Erlang fonksiyonu ile tarif edilmiştir. İlk gelene ilk servis verilir disiplini kullanarak

kuyruk modeli üzerine uygulama yapmıştır. Birinci durumda, gemi varışları Poisson dağılımıyla ifade edilmiş çoklu servis sistemi kullanılmıştır. İkinci durum, çok kanal sistemi için gemi varışları ve servis süresi negatif eksponansiyel dağılım ile ifade edilmiştir. Üçüncü durumda yine çoklu kanal sistem kullanılmış gemi varışları negatif eksponansiyel servis ise sabittir.

Sonuç olarak, Bangkok limanındaki operasyonlar için kuyruk teorisinin ikinci ve üçüncü şartlarının uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Miller (1971) kuyruk teorisi terminolojisinde bir servis sağlayıcısı olan yanaşma yeri problemi üzerine çalışmıştır. Rasgele varışlar bir servis yeri ve servis süreleri için Pollaczek Khintchine'nin kuyruk teorisi formülünü kullanmıştır. Araştırmacı gemi varışlarının rasgele olduğu sonucuna varmıştır.

Noritake ve Kimura (1983) limanlarda bir geminin hareketini açıklayan kuyruk teorisini seçtiler ve M/M/S ve M/E/S modellerini karşılaştırmışlardır. Lee, Longton ve Cosmetatos tarafından önerilen ortalama bekleme süresi formüllerini karşılaştırmışlardır. Cosmetatos'ın formülü, Lee longton formülüne göre teorik değerlere daha uygun bulunmuştur. Yanaşma yeri için bekleyen ortalama gemi sayısını hesaplamada Little'ın formülünü kullanmışlardır. Daha sonra optimum yanaşma yeri sayısı, yanaşma yerinde bekleyen gemilerin ortalama sayısının kullanarak bulunmuştur. Araştırmacılar trafik yoğunluğunu dikkate alarak yanaşma yeri kapasitesi üzerine çalışmışlardır.

4. LİMAN PLANLAMASI ve OPTİMİZASYON

4.1 Optimum Liman Boyutu

Liman planlanmasında, optimum liman boyutunu belirleme metodu geliştirmek için günümüze kadar çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar için bir limandaki yıllık yük miktarı, planlama hedefi olarak öncelikle belirlenmelidir. Ancak bir limanda elleçlenen yükün miktarı bağımsız olarak belirlenemez, bu diğer limanlarla ilişkili olarak belirlenmelidir.

İlk olarak mevcut ekonomik gelişme planları, trafik akış tahminleri, kullanılacak teknolojinin belirlenmesi, mevcut limanların durumu, limanlarla ilgili çalışmalar, varolan limanlardaki çalışmalar ve yöntemler gözden geçirilmelidir. Bu çalışma, saha çalışmalarını liman operasyonlarını, kamu ve özel acenteleri, finans ve yönetimini içermelidir.

Bir limanın kapasitesi, limana gelen gemiye ve/veya gemiden yükün elleçlenmesi olduğu gibi yükün liman içerisinde dağıtımını ve/veya dışarıya taşınma ölçüsüdür.

Liman planlamasını etkileyen temel faktörler;

1-İstatistiksel dağılımları içeren gemi trafik modelleri

- a) Gemi varış oranları
- b) Gemi büyüklükleri ve tipleri
- c) Geminin taşıma kapasitesine rölatif olarak transfer edilen yük miktarı

2-Taşınan farklı tipteki yükler için mevcut yanaşma yeri uzunluğu

3-Liman tarafından kullanılan elleçleme ekipmanlarının adetleri, kapasiteleri ve bu ekipmanların yük elleçleme özellikleri.

Bir limanda mevcut olması gereken yanaşma yerinin optimum sayısı ya da optimum rıhtım uzunluğu, ideal bir liman işletmesi için son derece önemlidir.

4.2 Önemli Liman Parametreleri

Limanın yeterliliği ve etkinliği bazı parametrelerin yardımıyla anlaşılır. Bu parametrelerin ve onlarla ilgili ifadelerin, önemli dağılımlar ve istatistiksel kuralların (kuyruk teorisinde kullanılan) bazıları aşağıda verilmiştir.

Terminal: Özel tipte bir yükü elleçlemede uzmanlaşmış bir liman faaliyeti olarak tanımlanır.

Yıllık Liman Kapasitesi: (Q) Bir liman veya terminalin (optimum şartlar altında) bir yılda elleçleyebildiği yük miktarıdır.

Toplam Gemi Sayısı: (N) Verilen bir liman işletme periyodunda limana gelen ya da servis verilen gemi sayısı.

Bir limanda mevcut Ortalama Gemi Sayısı: (\bar{n}) T periyodunda limandaki ortalama gemi sayısı yanaşma yerlerinde servis verilen gemilerin ortalama sayıları (\bar{n}_w) ile boş bir yanaşma yeri için bekleyen gemi sayısının (\bar{n}_b) toplamıdır.

$$\bar{n} = \bar{n}_w + \bar{n}_b \quad (4.1)$$

Varış Aralıkları (t_a): Birbirini izleyen iki gemi varışı arasındaki zaman aralığı. Bazı özel durumlarda, bu süre sabit kabul edilebilir. Gerçekte; gemilerin varışı, istatistiksel kurallara uyar ve istatistiksel dağılımlarla ifade edilebilir.

Ortalama Varış Oranı (a): Varış aralıklarının belli bir periyotta ortalamasıdır.

$$a = \frac{1}{t_a} \quad (4.2)$$

Gecikme olasılığı: Yanaşma yeri için kuyrukta bekleyen gemilerin ihtimali

Bekleme Süresi (t_w): Geminin gelişi ile yanaşması arasındaki süre.

Tüm gemiler için ortalama bekleme süresi;

$$T_w = \frac{\sum_{i=1}^N t_w}{N} \quad (4.3)$$

Ortalama Gecikme: Kuyruktaki tüm gemilerin ortalama bekleme süresi

Kuyruk Uzunluğu: Kuyruktaki gemilerin ortalama sayısı

Servis Süresi (t_b): Gemilerin yükleme/boşaltması için gerekli süre ile geminin yanaşma/ayrılması için gerekli sürelerin toplamıdır. Servis süresini etkileyen faktörler; yükün tipi ve miktarı, geminin tipi ve büyüklüğü, elleçleme ekipmanlarının türü, kapasitesi, sayısı ve işletmesidir.

Yanaşma yeri ortalama servis süresi;

$$T_b = \frac{\sum_{i=1}^N t_b}{N} \quad (4.4)$$

Ortalama servis oranı (b) : T_b'nin tersidir.

$$b = \frac{1}{T_b} \quad (4.5)$$

Uzatılmış Servis Süresi: Yetersiz elleçleme ekipmanından dolayı rıhtımda gemilerin gecikmesi.

Yanaşma yeri kullanım oranı: T periyodunda, dolu olan “M” sayıda yanaşma yeri için zaman oranı;

Verilen bir T periyodunda

$$B = \frac{a}{Mb} \quad (4.6)$$

burada “a” gemilerin ortalama varış oranı, “b” ortalama servis oranı, “M” yanaşma yeri sayısıdır.

Maksimum yanaşma yeri kullanım oranı aşıldığında limanda sıkışıklık başlar ve yeni yanaşma yeri yapma gereği doğar.

Araştırmalar, gemi varışlarının ve servis zamanı dağılımlarının, bir liman alanında büyük ölçüde bazı istatistiksel kurallara ve ifadelere uyduğunu göstermiştir. Bunlar temel olarak;

Varış (Poisson's) Dağılımı: Gerçekte gemilerin limana geliş dağılımları rasgeledir. Ancak gemilerin rasgele gelişlerinin gerçek dağılımı, teoriden elde edilen rasgele olayların dağılımını veren Poisson dağılımı ile %81.5 ile %98.5 aralığında uyum sağladığı görülmüştür. Böylece Poisson dağılımının gemi varışlarını temsil edebileceği kabul edilebilir.

$$P(n_a) = \frac{\bar{n}_a^{n_a} e^{-\bar{n}_a}}{n_a!} \quad (4.7)$$

Burada; P(n_a): n_a adet geminin limana gelme olasılığıdır.

n_a: Belirlenen T periyodunda gelen gemilerin sayısı

e: Naperion logaritmasıdır (2.71828).

$$\bar{n}_a = \frac{N}{T(365 \text{ gun})} \text{ günde gelen ortalama gemi sayısı} \quad (4.8)$$

Gemi varış aralıkları zaman dağılımı, negatif eksponansiyel fonksiyon olarak (4.9) eşitliği ile ifade edilebilir.

$$P_t = \frac{1}{t_a} e^{-\frac{t}{t_a}} \quad (4.9)$$

P_t verilen bir zaman aralığında gemi varış aralıklarının ihtimali; t_a ortalama gemi varış aralığıdır.

Servis Süresi Dağılımı: Geminin rıhtıma yanaşmasından yükleme ve boşaltma işlemlerinin yapılması ve rıhtımdan ayrılana kadar geçen süre servis süresi olarak tanımlanır. Bu süre her gemi için farklı da sabitte olabilir.

Değişken olması durumunda sürenin olasılık dağılımı belirlenmelidir. Servis süresi dağılımını tariflemeye yaygın olarak kullanılan bir ifade, negatif eksponansiyel tipteki Erlang fonksiyonudur. Yanaşma yeri servis şekli, basit negatif eksponansiyel eğrisini takip etmediğinden, farklı Erlang K değerleri dikkate alınabilir. Erlang K değerinin seçimi tamamıyla negatif eksponansiyel tip ($K = 1$) ya da tamamen düzenli sabit servis süresi tipi ($K=\infty$) de olabilir.

$$P(t_b) = e^{-Kbt_b} \sum_{n=0}^{K-1} (Kbt_b)^n / n! \quad (4.10)$$

Burada, $P(t_b)$, yanaşma yerinde harcanan sürenin olasılığı; b , ortalama servis oranı $=1/T_b$,

N limandaki gemi sayısı, K Erlang sayısıdır. $K=1$, $K=2$ ve $K=3$ olması durumunda bu eşitlik aşağıdaki şekillere dönüşür.

$$P_b(\geq t) = e^{-bt_b} \quad K=1 \quad (4.11)$$

$$P_b(\geq t) = e^{-2bt_b} (1 + 2bt_b) \quad K=2 \quad (4.12)$$

$$P_b(\geq t) = e^{-3bt_b} \left[1 + 3bt_b + \frac{(3bt_b)^2}{2} \right] \quad K=3 \quad (4.13)$$

4.3 Kuyruk Teorisi ve Modelleri

Kuyruk teorisi, liman planlanması ve analizinde popüler bir araç olmuştur. Limanı kullanan çeşitli araçların servis süreleri ve varış aralıklarının rasgele olduğu varsayımı genellikle kullanılmaktadır, bu yüzden poisson dağılımı varış aralıkları ve servis süresini iyi temsil etmektedir. Bu varsayımla, bir veya daha çok yanaşma yeri modeli kurulabilir, gemi yanaşma yerine geldiğinde, yanaşma yeri kullanım oranı, ortalama gemi bekleme süresi, bekleyen gemi sayılarının maksimum değerleri hesaplanabilir.

D.G. Kendall (1972) kuyruk durumlarının geniş bir sınıflandırmasını kapsayan, işaretlerle gösterme sistemini önermiştir. Böyle bir sistemin davranışını belirleyen faktörler:

- 1-) Gemi varışları,
- 2-) Gemilerin servis süreleri,
- 3-) Servis sistemi (kuyruk disiplini, yanaşma yeri sayısı)

Gemi varışları ve servis süreleri istatistiksel dağılım olarak ifade edilir. Servis sistemi, kuyruk disipliniyle yanaşma yeri sayısı ile tanımlanabilir. Kuyruk disiplini birçok durumlarda ilk gelene ilk servis verilir veya ilk gelen ilk gider kuralına göre uygulanır.

Kuyruk sistemi, gemilerin varışlar arası dağılımları, servis zamanı dağılımı ve sistemdeki verilen servis sayısı ile tanımlanabilir. Kendall (1972) birkaç dağılımın her birine bir harf atamıştır ve harf/harf/sayı' dan oluşan üç parçalı bir kodla kuyruk teorisini tanımlamıştır. İlk harf; varış dağılımını, ikinci harf; servis süresi dağılımını ve rakam ise servis sayısını göstermektedir. Kendall (1972) harfleri aşağıdaki gibi atamıştır.

M- Negatif eksponansiyel dağılım;

Değişik t değerleri için $f(t)$ olasılık yoğunluk fonksiyonu, negatif bir eksponansiyel dağılımdır.

$$f(t) = e^{-\lambda t} \quad (4.14)$$

M harfi Markov'dan alınmıştır. Bu dağılım λ ortalama parametresini gerektirmektedir.

E_k- Erlang dağılımı;

Bu dağılım, negatif eksponansiyel dağılımdan daha genel bir dağılımdır ve μ ve k olmak üzere iki parametrelidir. Erlang dağılımı A.K. Erlang tarafından kuyruk çalışmalarında ilk kez kullanılmıştır.

$$f(t) = \frac{(k\mu)^k t^{k-1} e^{-k\mu t}}{(k-1)!} \quad (4.15)$$

D- Deterministik dağılım

Deterministik birikimli dağılım fonksiyonu aşağıda verilen formulasyonda ifade edilmiştir.

Bu dağılımda değişken değişmez ve tüm durumlarda a değerleri alınır.

$t < a$ için 0

$$f(t) = \int_0^1 f(t)\lambda\mu = \quad (4.16)$$

$t > a$ için 1

G- Genel dağılım

Bu harf, dağılım fonksiyonunun biçimi hakkında tahmini yapılamadığı durumlarda kullanılır.

Bu tahminlerdeki çalışmaların sonuçları evrenselidir.

Bahsedilen dağılım fonksiyonlarından; M- Negatif eksponansiyel dağılım, E_k -Erlang dağılımı ve D- Deterministik dağılım teorik iyileştirme için en uygun olan fonksiyonlardır.

Örnekler:

M/M/3

- Varies aralıkları dağılımı negatif eksponansiyeldir
- Servis süresi dağılımı negatif eksponansiyeldir
- 3 servis noktası mevcuttur

M/G/1

- Varies aralıkları dağılımı negatif eksponansiyeldir
- Servis zamanı dağılımı geneldir.
- 1 servis noktası mevcuttur

M/E2/4

- Varış aralıkları dağılımı negatif eksponansiyeldir
- Servis zamanı dağılımı Erlang 2'dir
- 4 servis noktası mevcuttur

Varış aralıkları

Gemilerin varış aralıkları, genel olarak istatistiksel dağılımla ifade edilir. İstatistiksel dağılımı belirlemek için limana ardışık gelen gemi aralıklarına bakılır. Bu aralıkların dağılımlarına, varış aralığı dağılımı denmektedir. Eğer varışlar tamamıyla rasgele ise varış aralıklarını modellemek için negatif eksponansiyel dağılım kullanılmaktadır.

Servis süresi

Rıhtım uzunluğu boyunca gemilere servis verme süresi kuyruk uzunluğunu belirlemektedir. Ortalama varış aralığına sahip yeterli sayıdaki yanaşma yerli bir sistemde kuyruk oluşumu gerçekleşebilir. Bu nedenle bir çalışmaya başlamadan önce servis süresi dağılımı bilinmelidir. Liman mühendislik sistemlerinde toplam servis süresi birkaç farklı safhadan oluşmaktadır ve bu Erlang k dağılımının özelliğidir. Erlang k dağılımı k adet negatif eksponansiyel dağılımın toplamı olarak düşünülebilir. Her bir safha "kλ" parametrelili eksponansiyel servis süresi dağılımına sahiptir.

Matematiksel olarak ifadesi

$$t > 0 \text{ ise } f(t) = \frac{(k\mu)^k t^{k-1} e^{-k\mu t}}{(k-1)!} \quad (4.17)$$

$$\text{diğer durumlar için } f(t) = 0$$

$1/\mu$ = ortalama servis süresi

μ = ortalama servis oranı

Ölçülen dağılımı Erlang-k dağılımı ile ifade etmek mümkündür. k değerleri değiştirilerek ölçülen dağılıma uygun Erlang-k dağılımı tespit edilebilir. k değeri 1'e eşit olduğunda Erlang dağılımı negatif eksponansiyel dağılımla aynıdır. Erlang-k dağılımı Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

$$f(t) = e^{-\lambda t} \quad (4.18)$$

Kuyruk disiplini yöntemleri

Birkaç gemili bir kuyruğun oluştuğu durumlarda servis verilecek gemiyi belirleyen bazı yöntemler vardır. Bu yöntemleri oluşturan kuralları belirlemeye kuyruk disiplini denir. Kuyruk disiplini aşağıdaki gibi belirlenir:

a) Kuyruğa varış zamanına bağlı olarak

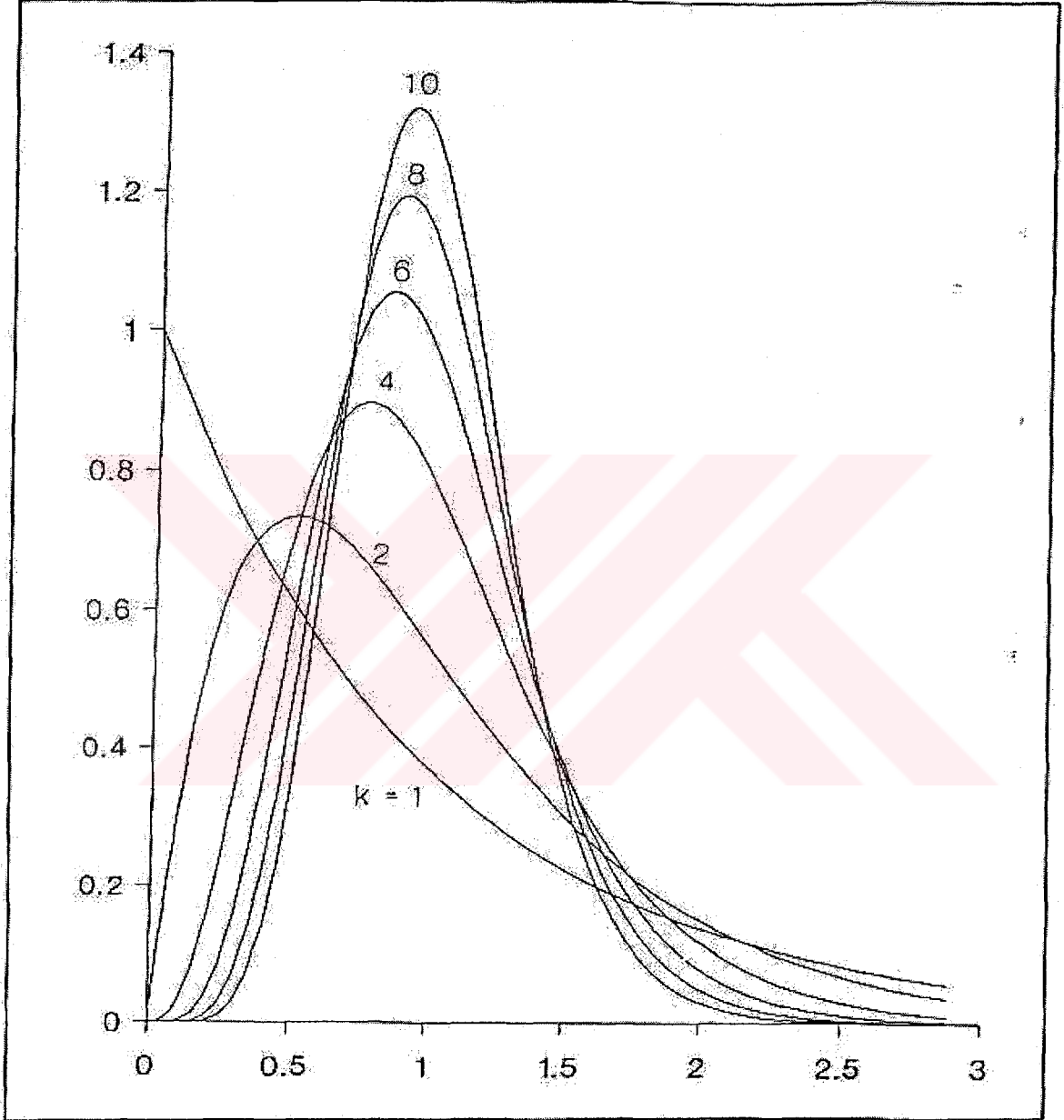
- 1- FIFO (First In First Out); ilk gelen ilk gider veya
FCFS (First Come First Served); ilk gelene ilk servis verilir
- 2- LIFO (Last In First Out); son gelen ilk gider
- 3- Rasgele

b) Servis süresine bağlı olarak

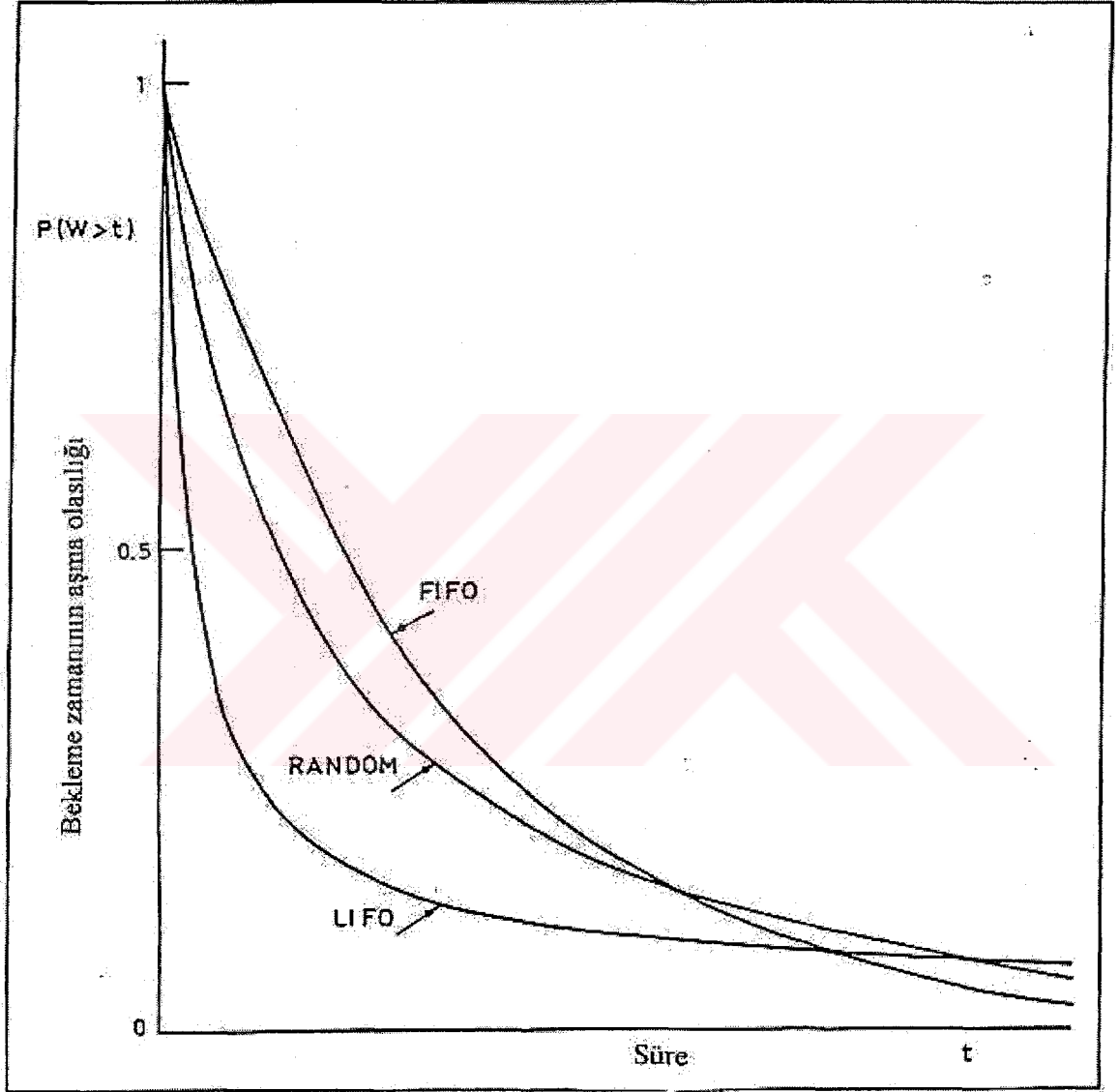
S.P.T (Shortest Processing Time First); en kısa servis süresine sahip olan önceliklidir

c) Üstünlüğe bağlı olarak

Bir kuyruk sistemindeki farklı kuyruk disiplinleri için bekleme süresinin aşılma ihtimalinin değişimi Şekil 4.2 'de gösterilmiştir. Şekilde LIFO sisteminin varyansı FIFO sisteminin varyansından daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1 Erlang-k dağılımı



Şekil 4.2 t değerini aşan bekleme zamanındaki değişim

4.3.1 Yanaşma Yeri Sayısının Belirlenmesi

Optimum yanaşma yeri sayısının belirlenmesi, liman planlamasında ve liman gelişim çalışmalarında karar almada önemlidir. Gemi bekleme süresinin maliyeti ile yanaşma yerinin boş durduğu zamanın maliyetlerinin toplamı minimum olduğunda yanaşma yeri sayısı genellikle optimum kabul edilir.

Aşağıdaki tartışmalarda kabul edilen varsayımlar;

- a) Gemiler Poisson dağılımına göre varırlar,
- b) Yanaşma yerlerindeki servis sürelerinin dağılımı Poisson'a göre yapılır,
- c) Sisteme gelen gemilerin sayısının dağılımı Poisson'dur,
- d) Her bir yanaşma yerine bir gemi geldiği varsayılır,
- e) İlk gelene ilk servis verileceği temeline dayanır,
- f) Kuyruk uzunluğunda sınırlama yoktur.

Liman planlanmasında temel problem, bir liman için gerekli olan gemi ve yük trafiğine karşı en düşük maliyetli çözümü veren yanaşma yeri sayısının ve diğer tesislerin seçilmesidir.

Optimum yanaşma yeri sayısı, genellikle bir yanaşma yeri için bekleyen geminin yıllık maliyeti ile boş bekleyen yanaşma yerinin yıllık maliyetinin toplamını minimize eden yanaşma yeri sayısı olarak tanımlanmaktadır. Bu da liman kapasitesinin bir ölçüsüdür. Liman kapasitesi, limana gelen gemiye veya gemiden yük elleçleme kabiliyeti olduğu gibi aynı zamanda liman içerisinde de yükün hareket kabiliyetidir. Liman kapasitesini etkileyen ilgili faktörler ve yanaşma yeri sayısının belirlenmesinde etkili temel faktörler aşağıda verilmiştir.

Liman kapasitesini etkileyen faktörler.

- a) Yanaşma yeri sayısı
- b) Birim zamanda gemi/rıhtım arasında yük elleçleme kapasitesi
- c) Birim zamanda limanın içine ve dışına yük elleçleme kapasitesi
- d) Birim zamandaki yük depolama kapasitesi

Yanaşma yeri sayısının belirlenmesinde etkili temel faktörler:

- a) Varış aralıkları zaman dağılımını içeren gemi varış istatistikleri
- b) Gemi servis süresi dağılımı
- c) Yanaşma yeri ve ilgili liman faaliyetlerinin sabit maliyeti
- d) Limanda gemi bekleme maliyeti
- e) Kargo elleçleme ve depolama maliyeti

Gemi elleçlenmesinde yük trafiğinde liman maliyetini en aza indirmek için yukarıda belirtilen faktörlerle bağlantılı bir deneme yapılır. En basit kuyruk modelinde, optimum yanaşma yeri sayısının seçimi için kriter, bir yanaşma yeri için bekleyen gemilerin harcadığı zamanın yıllık maliyeti ile boş yanaşma yerinin yıllık maliyeti ve boş duran diğer ilgili faaliyetlerin maliyetini minimize etmektir. Kullanılan yöntem, daha sonra gemi sayılarının Poisson dağılımına uyduğunu kabul eder. Poisson dağılımının parametresi, dikkate alınan periyot aralığında toplam servis süresinin periyoda bölünmesiyle belirlenir.

$P(n_s)$: Limandaki gemi sayısının olasılık yoğunluk fonksiyonu

n_s : Herhangi bir anda bekleyen veya servis verilen gemi sayısı

n_b : Limanda mevcut yanaşma yeri sayısı

C_w : Limanda bekleyen gemilerin saatlik maliyeti

C_b : Boş yanaşma yeri saatlik maliyeti

t : Bir yıldaki saatlerin toplamı

$n_b - n_s$: Herhangi bir anda limanda n_s adet gemi olduğunda boş bekleyen yanaşma yeri sayısı ($n_b > n_s$)

$n_s - n_b$: Bekleyen gemi sayısı

Toplam yıllık maliyet (TC), belirli bir anda limana gelen n_s sayıda gemi ve n_b sayıda yanaşma yeri ile ilgili olarak aşağıda verilmiştir.

$$TC = IBC + SWC \quad (4.19)$$

burada, $IBC =$ Boş yanaşma yeri maliyeti

$$= (\text{yanaşma yerinin boş olduğu saatlerin toplamı}) * (\text{boş yanaşma yerinin saatlik maliyeti})$$

$$IBC = C_b \sum_{n_b+1}^{n_b} (n_b - n_s) t(n_s) \quad (4.20)$$

ve

SWC = Gemi bekleme maliyeti

= (bekleyen gemilerin toplam bekleme süresi)* (bekleyen gemilerin saatlik maliyeti)

$$SWC = C_w \sum_{n_b+1}^{\infty} (n_s - n_b) tP(n_s) \quad (4.21)$$

Bundan dolayı

$$TC = C_b \sum_{n_s=0}^{n_b} (n_b - n_s) tP(a_s) + C_w \sum_{n_b+1}^{\infty} (n_s - n_b) tP(n_s) \quad (4.22)$$

Minimum maliyet (4.19) eşitliğini kullanarak ve n_b 'yi değiştirerek deneme yanılma yolu ile bulunur.

$$\text{Yanaşma yeri kullanım oranı} = T / t^*n_b \quad (4.23)$$

burada T = gerekli olan yanaşma yeri süresi, t^*n_b = mevcut yanaşma yeri süresi

4.3.2 Sıkışıklık ve Maliyetin Değerlendirilmesiyle Yanaşma Yeri Planlaması

Nicalaou (1967) tarafından önerilen liman planlanması için bu yaklaşımın amacı, minimum yatırım maliyeti ile optimum liman kapasitesine ulaşmaktır. Bir limanın işletme kapasitesi mevcut gemi trafiği için yanaşma yeri sayısına ve gemi ile kıyı arasındaki kargo taşıma kapasitesine bağlıdır. Burada üç temel kavram geliştirilecektir.

n_s = verilen zamanda limandaki gemi sayısı (n_s çok büyük olabilir ve hesabı kolaylaştırmak için sonsuza yaklaştırılabilir.)

n_b = Limanda mevcut yanaşma yeri sayısı

T = Liman işletim periyodu (genellikle bir yıl)

Limanda gemi gelişleriyle ilgili olarak Poisson varış modelini ve n_s 'nin olasılığını göz önünde bulundurarak, verilen zaman diliminde gemi varışlarını ifade edebiliriz.

$$P(n_s) = \frac{(\mu n_s)^{n_s} e^{-\mu n_s}}{n_s!} \quad (4.24)$$

Burada $P(n_s)$ = verilen bir zaman diliminde n_s gemi varışlarının olasılık yoğunluk fonksiyonu ve

μn_s = dikkate alınan zaman diliminde yanaşma yeri gerektiren limandaki araçların ortalama sayısı

$n_s \rightarrow \infty$ olduğunda n_s 'nin büyük değerleri için;

$$\lim_{n_s \rightarrow \infty} P(n_s) = \sum_{n_s=0}^{\infty} \frac{(\mu n_s)^{n_s} e^{-\mu n_s}}{n_s!} \quad (4.25)$$

$$= 1 \quad (\text{sonlu serilerin genişletilmesiyle})$$

verilen T zaman diliminde n_s gemilerinin varışının beklenen frekansı $F(n_s)$

$$F(n_s) = TP(n_s) \quad (4.26)$$

ve $n_s \rightarrow \infty$

$$\lim_{n_s \rightarrow \infty} \sum_{n_s=0}^{n_s} F(n_s) = T \quad (4.27)$$

Tıkanıklık derecesi (DC): Tıkanıklık derecesi, dikkate alınan T zaman diliminde gemi sayısının yanaşma yeri sayısını aştığı durum için verilen zaman oranıdır.

Bundan dolayı

$$(DC)_{n_b} = \frac{T(n_s)n_b}{T} \cong \frac{\sum_{n_s=n_b+1}^{n_s} F(n_s)}{T} = \sum_{n_s=n_b+1}^{n_s} P(n_s) \quad (4.28)$$

Tıkanıklık derecesi, n_b adet yanaşma yerinin gelen gemilerle kullanılması ihtimalini ihtiva eden gecikme olasılığından farklıdır.

Kullanım derecesi (DO): Kullanım derecesi, dikkate alınan zaman diliminde bir limandaki n_b adet yanaşma yerinin kullanıldığı sürenin (gün olarak) mevcut toplam yanaşma yeri günlerine oranıdır.

$$(DO)_{n_b} = \frac{\sum_{n_s=0}^{n_s} n_b F(n_s) - \sum_{n_s=0}^{n_b-1} (n_b - n_s) F(n_s)}{\sum_{n_s=0}^{n_s} n_b F(n_s)} \quad (4.29)$$

$$\sum_{n_s=0}^{n_s} n_b F(n_s) = n_b T = \text{günlük mevcut yanaşma yerinin toplam sayısı} \quad (4.29.a)$$

ve

$$\sum_{n_s=0}^{n_b-1} (n_b - n_s) F(n_s) = \text{günlük boş yanaşma yerinin toplam sayısı} \quad (4.29.b)$$

$$(DO)n_b = \sum_{n_s=1}^{n_b} \frac{n_s}{n_b} P(n_s) + (DC)n_b \quad (4.30)$$

Maliyetle ilgili olarak optimum liman kapasitesi: Rallis'in (1967) belirttiği gibi, analiz boş yanaşma yeri maliyeti ve bekleyen gemileri içermedikçe, tıkanıklık ve kullanım oranının temelinde değerlendirilen liman işletimi yanlış sonuçlar çıkararak yanlış yola gidilmesine neden olur.

C_w = birim zamanda yanaşma yeri için bekleyen gemilerin ortalama birim maliyeti

C_b = boş yanaşma yerinin ortalama birim maliyeti

n_b sayıda yanaşma yeri ve n_s sayıda gelen gemi için toplam maliyet daha önce tartışılmıştı.

$n_s > n_b$ olduğu durumlarda, tüm yanaşma yerleri doludur yani bekleyen gemiler vardır ve bundan dolayı gemi bekleme maliyeti söz konusudur.

Toplam gemi bekleme maliyeti aşağıdaki gibi verilir.

$$C_w^T = C_w \sum_{n_s=n_b+1}^{n_s} (n_s - n_b) F(n_s) \quad (4.31)$$

Bekleme $(n_b + 1)$ 'inci gemiden başlayarak n_s 'ye kadar ulaşır.

$n_b > n_s$ olduğunda yanaşma yeri boş kalmaktadır. Toplam boş yanaşma yeri maliyeti C_b^T aşağıdaki gibi yazılır.

$$C_b^T = C_b \sum_{n_s=0}^{n_b-1} (n_b - n_s) F(n_s) \quad (4.32)$$

Bundan dolayı toplam maliyet aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\begin{aligned}
C_{n_b}^T &= C_W^T + C_b^T = C_W \sum_{n_s=n_b+1}^{n_s} (n_s - n_b)F(n_s) + C_b \sum_{n_s=0}^{n_b-1} (n_b - n_s)F(n_s) \\
&= T \left[C_W \sum_{n_s=n_b+1}^{n_s} (n_s - n_b)P(n_s) + C_b \sum_{n_s=0}^{n_b-1} (n_b - n_s)P(n_s) \right]
\end{aligned} \tag{4.33}$$

n_b adet yanaşma yeri sayısına sahip bir liman maliyeti, $C_{n_b}^T$ toplam maliyeti minimum olduğunda optimum olacaktır.

$$C_{n_b}^T < C_{n_b+1}^T \quad \text{ve} \quad C_{n_b}^T < C_{n_b-1}^T \tag{4.34}$$

Bu nedenle, daha önce gösterildiği gibi toplam maliyet terimini genişleterek optimum şart için aşağıdaki kritere ulaşılabilir.

$$\sum_{n_s=n_b+1}^{n_s} P(n_s) \left(1 - \frac{C_W}{C_b + C_W} \right) < \sum_{n_s=n_b}^{n_s} P(n_s) \tag{4.35}$$

$$(DC)_{n_b} \left(1 - \frac{C_W}{C_b + C_W} \right) < (DC)_{n_b-1} \tag{4.36}$$

$$Q = RTn_b (DO)_{n_b} \tag{4.37}$$

burada R = her bir yanaşma yerinde yük yükleme (veya boşaltma) oranı, Q = liman toplam yüküdür.

4.3.3 Yanaşma Yeri Planlama Modellerinde Dağılım Varsayımlarının Değerlendirilmesi

Limanda yanaşma yerinin optimum sayısını belirlemek için tartışması yapılan analitik modellerde kullanılan varsayımlar aşağıda belirtilmiştir:

- Gemi varışları Poisson dağılımını içermektedir,
- Servis süresi eksponansiyel dağılım göstermektedir,
- Limanda gemi sayılarının (bekleyen ve servisteki) dağılımı da Poisson'dur,
- Yanaşma yeri fonksiyonu bağımsız servislerdir.

Liman işletimlerinin analizlerinde genel olarak tercih edilen modelin, limanda gemi sayılarının Poisson dağılımından ziyade $M/M/n_b$ varsayımından sonuçlanan dağılıma uyduğu görülmektedir. Limandaki gemi sayıları dağılımı eğer yalnız yanaşma yeri sayısı sonsuzsa veya her gemi limana geldiğinde servis verilebiliyorsa, poisson kullanılabilir. Ancak analizde,

yanaşma yeri sayısı n_b 'nin sonlu olduğu kabul edilir. Böylece analizde çelişkili varsayımlar kullanılmış olur.

M/M/ n_b işlemini belirlemek için gereken parametreler aşağıdaki gibidir:

n_b = limandaki yanaşma yeri sayısı

n_s = limandaki gemi sayısı

r_b = her bir yanaşma yerinde elleçlenebilen gemilerin ortalama sayısı (servis oranı)

r_s = birim zamandaki ortalama gemi sayısı

$$Z = r_s / r_b$$

R = günde ton cinsinden ifade edilen, yanaşma yeri için elleçlenen kargo oranı

Q = T periyodunda elleçlenen toplam kargo

Bu nedenle

$$\begin{aligned} Z &= \frac{(n_s / T)}{(Rn_s / Q)} \\ &= \frac{Q}{RT} = \frac{n_b RT (DO) n_b}{RT} = n_b (DO) n_b = K \mu n_s \\ &= K \mu n_s \end{aligned} \quad (4.38)$$

Şimdi, $n_0 > n_s > \mu n_s$ olduğunda gemi beklemesi söz konusu değildir.

$$\lim_{K \rightarrow 1} Z = \mu n_s \quad (4.38.a)$$

Rasgele gemi varışları için, rasgele olayların Poisson dağılımını kullanarak

$$P(n_s) = \frac{(\mu n_s)^{n_s} e^{-\mu n_s}}{n_s!} = \frac{(Z)^{n_s} e^{-Z}}{n_s!} \quad (4.38.b)$$

$$P_0 = e^{-Z} = e^{-\mu n_s} \quad (4.39)$$

$$P(n_s) = \frac{P_0 (Z)^{n_s}}{n_s!} \quad (4.40)$$

Daha önce açıklandığı gibi:

$$\lim_{n_s \rightarrow \infty} \sum_{n_s=0}^{n_s} P(n_s) = 1 \quad (4.41)$$

veya

$$\lim_{n_s \rightarrow \infty} \sum_{n_s=0}^{n_s} \frac{P_0(Z)^{n_s}}{n_s!} = P_0 \lim_{n_s \rightarrow \infty} \sum_{n_s=0}^{n_s} \frac{(Z)^{n_s}}{n_s!} = 1 \quad (4.42)$$

Bu arada, P_0 aşağıdaki gibi genişletilebilir.

$$\begin{aligned} P_0 &= e^{-Z} = \frac{1}{e^Z} = \frac{1}{1 + Z/1! + Z^2/2! + Z^3/3! + Z^{n_s}/n_s!} + \dots \\ &= \frac{1}{\sum_{n_s=0}^{n_b-1} Z^{n_s}/n_s! + n_b!(1 - Z/n_b)} \\ &= \left\{ \sum_{n_s=0}^{n_b-1} \frac{Z^{n_s}}{n_s!} + \frac{Z^{n_b}}{n_b!(1 - Z/n_b)} \right\}^{-1} \end{aligned} \quad (4.43)$$

$n_b < n_s < \infty$ için, bir bekleme kuyruğu oluşturulduğunda, limandaki gemi sayısının olasılık dağılımı,

$$P(n_s) = P_0 \left(\frac{Z}{n_b} \right)^{n_s} \frac{n_b^{n_b}}{n_b!} \quad (4.44)$$

Önceden verilen sonuçlar özetlenirse, limandaki (bekleyen ve servis olan) gemilerin olasılık dağılımı sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$P(n_s) = \begin{cases} P_0 \frac{Z^{n_s}}{n_s!}, & 0 < n_s \leq n_b \text{ için} \\ P_0 \left(\frac{Z}{n_b} \right)^{n_s} \frac{n_b^{n_b}}{n_b!}, & n_b < n_s \leq \infty \text{ için} \end{cases} \quad (4.45)$$

$$P_0 = \left\{ \sum_{n_s=0}^{n_b-1} \frac{Z^{n_s}}{n_s!} + \frac{Z^{n_b}}{n_b!(1 - Z/n_b)} \right\}^{-1} \quad (4.46)$$

Ancak $n_b < n_s \leq \infty$ için, gemiler servis için bekliyorlarsa bekleme kuyruğunun oluşum olasılığı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\sum_{n_s=n_b}^{n_s \rightarrow \infty} P(n_s) = 1 - P_0 \sum_{n_s=0}^{n_b-1} = P_0 \frac{Z^{n_b}}{n_b!(1-Z/n_b)} \quad (4.47)$$

Önceki analiz M/M/ n_b varsayımına dayanmaktadır. Dağılım n_b 'nin değişmesiyle değişmektedir. Bu değişen dağılımın bir sonucu olarak, n_b 'nin farklı planlama seçenekleri n_s dağılımı sabit kaldığında (finansal ve ekonomik amaçlara yönetim önceliğine bağlı kaldığında) yapılabilir. Bazı durumlarda, eksponansiyelden farklı olabilir ve M/G/ n_b 'nin genel formdaki diğer kuyruk modeli M/M/ n_b modeline tercih edilebilir.

M/M/ n_b modeliyle kastedilen limanda dağılımdaki dağılımlarla uygunsuzluklarda gemilerin sayısının dağılımın makul olabilirliliği, servis oranı için varış oranı için varış oranının tahmininin kullanılmasıyla kanıtlanabilir.

Bir M/M/ n_b modelini kullanarak limanda gemilerin ve yanaşma yerlerinin sayılarının bağımsız dağılım problemini elenir. Benzer şekilde bu sistem, varış dağılımı ve gemi sayılarının dağılımı arasındaki karışıklığı kaldırır.

Analizde kullanılan toplam maliyet fonksiyonunun değerlendirilmesi de değişir. Maliyet fonksiyonunun genel biçimi aşağıdaki gibidir:

$$C_{n_b}^T = T \left[C_b \sum_{n_s=0}^{n_b-1} (n_b - n_s) P(n_s) + C_w \sum_{n_s=n_b+1}^{\infty} (n_s - n_b) P(n_s) \right] \quad (4.48)$$

M/M/ n_b kuyruk model yaklaşımı kullanılarak aşağıdaki formül elde edilir.

$$C_{n_b}^T = T \left[C_b (n_b - Z) + \frac{C_s DZ / n_b}{1 - Z / n_b} \right] \quad (4.49)$$

Burada D (n_b, Z) gelen geminin gecikme olasılığı;

$$D(n_b, Z) = \left\{ \frac{Z^{n_b} Z / n_b}{n_b!(1 - Z / n_b)} + \sum_{n_s=0}^{n_b} Z^{n_s} / n_s! \right\}^{-1} \frac{Z^{n_b}}{n_b!(1 - Z / n_b)} \quad (4.50)$$

Burada $C_b(n_b - Z)$, n_b artarsa artar

$D(Z, n_b)$, Z/n_b 'nin birdan fazla olduğu durumda n_b artarsa $D(Z, n_b)$ azalır.

$$\frac{Z}{n_b - Z} \quad n_b \text{ artarsa azalır} \quad (4.51)$$

Bu nedenle toplam maliyet fonksiyonu, $C_{n_b-1}^T > C_{n_b}^T < C_{n_b+1}^T$ bulunan bir noktaya kadar farklı n_b değerleri için fonksiyonun değerlendirmesiyle bulunabilen minimum değeri tektir.

4.3.4 Yanaşma Yeri Planlamasında M/M/S Uygulaması

Bu bölümde, limandaki gemi sayılarının dağılımı, gemilerin beklemesi, servis yapılan gemiler, dolu olması beklenen yanaşma yeri sayısı ve yanaşma yeri kullanımı gibi liman işletim dağılımlarını belirlemek için M/M/S uygulaması tartışılacaktır.

Yapılan varsayımlar:

- Gemilerin varışları Poisson'dur,
- Aynı şekilde eksponansiyel servis zamanları dağıtılır,
- n_b yanaşma yerinin ilk mevcut yanaşma yerinde ilk- geliş-ilk servis sistemi kullanılır,
- limandaki gemilerin sayılarının dağılımında M/M/S modeli uygulanır,
- Sınırlandırılmamış kuyruk uzunluğu,

1- *Limanda n_s gemilerinin sayılarının dağılımı:* Bazı zamanlarda limanda sunulan n_s gemilerin sayısı için, dolu yanaşma yeri sayısı ve bekleyen gemi sayısı için kullanılan dağılımlarda farklılıklar vardır. Bu dağılımlar, bir parametre olarak n_b 'yi içerir ve bundan dolayı, yanaşma yeri değişim sayısı olarak olasılık yoğunluk fonksiyonu değişir. n_s 'nin dağılımı, Poisson varışları varsayımı ve n_b yanaşma yeriyle eksponansiyel servis zamanları altında Poisson'a göre dağılmaz. Yalnızca servis sayısı belirsiz ya da $n_b \rightarrow \infty$ ise bu Poisson dağılımıdır. Bunu göstermek için;

λ = gemi/gün (varış oranı) varışların ortalama sayısı

μ = $1/t_b$ = gemi/gün/yanaşma yeri (servis oranı) sayısının ortalaması

δ = λ / μ beklenen varış oranının, yanaşma yerinde beklenen servis oranına bölünmesi

n_s = limandaki gemi sayısı

n_{sb} = yanaşma yerindeki gemi sayısı

n_{sw} = bir yanaşma yeri için bekleyen gemilerin sayısı

n_b = yanaşma yeri sayısı

Ortalama r_s değeri ile Poisson varış dağılımı, ortalama t_b değeriyle eksponansiyel servis zamanı, n_b yanaşma yeri sayısı ve sınırsız kuyruk uzunluğunu kabul yaparak, limana gelen gemilerin dağılımını aşağıdaki gibi yapabiliriz.:

$P(n_s), n_s = 0, \dots, \infty$

$$P(0) = \left\{ \frac{\delta^{n_b}}{n_b!(1-\delta/n_b)} + \sum_{n_s=0}^{n_b-1} \frac{\delta^{n_s}}{n_s!} \right\}^{-1} \quad (4.52)$$

$$P(n_s) = \begin{cases} P(0) \frac{\delta^{n_s}}{n_s!} & 0 < n_s \leq n_b \\ P(0) \left(\frac{\delta}{n_b}\right)^{n_s} \frac{n_b^{n_b}}{n_b!} & n_b \leq n_s < \infty \end{cases} \quad (4.53)$$

Bu dağılımın Poisson dağılımı olmadığına dikkat edilmelidir.

$$P(n_s) = \frac{\delta^{n_s}}{n_s!} e^{-\delta} \quad (4.54)$$

olduğundan

$$e^{-\delta} = \sum_{n_s=0}^{\infty} \frac{\delta^{n_s}}{n_s!} \neq \sum_{n_s=0}^{n_b-1} \frac{\delta^{n_s}}{n_s!} + \frac{\delta^{n_b}}{n_b!} \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\delta}{n_b}\right)^k = P(0) \quad (4.55)$$

$n_b \rightarrow \infty$

2-Gemi bekleme süresi maliyeti: $n_{sw} = 0, 1, \dots$, için $P(n_{sw})$ yanaşma yeri için gemi bekleme sayısının dağılımı, $P(n_s)$ 'in dağılımından çıkarılabilir.

$$\begin{aligned} P(n_{sw} = 0) &= \sum_0^{n_b} P(n_s) = P(0) \sum_{n_s=0}^{n_b} \frac{\delta^{n_s}}{n_s!} \\ &= \frac{\sum_{n_s=0}^{n_b} \frac{\delta^{n_s}}{n_s!}}{\sum_{n_s=0}^{n_b-1} \frac{\delta^{n_s}}{n_s!} + \delta^{n_b} / n_b!(1-\delta/n_b)}, \quad n_{sw} = 0 \text{ için} \end{aligned} \quad (4.56)$$

$$\begin{aligned} P(n_{sw}) &= P(n_{sw} + n_b) = \frac{1}{\sum_{n_s=0}^{n_b} \frac{\delta^{n_s}}{n_s!} + \delta^{n_b} / n_b!(1-\delta/n_b)} \\ &= \left(\frac{\delta}{n_b}\right)^{n_{sw}+n_b} \left(\frac{n_b^{n_b}}{n_b!}\right), \quad 0 < n_{sw} < \infty \text{ için} \end{aligned} \quad (4.57)$$

3-Serviste gemilerin dağılımı: Rallis'in (1967) çalışılmasını yaptığı yanaşma yerindeki gemi sayılarının dağılımı n_{sb} , $P(n_{sb})$, limana gelecek toplam gemi sayısı $n_b - 1$ 'den daha küçük, $n_s \geq n_b$ ve $n_{sb} = n_b$ olduğu durumlar için hesaplanabilmektedir.

$$P(n_{sb} = 0) = \left\{ \frac{\delta^{n_b}}{n_b!} \frac{1}{(1 - \delta/n_b)} + \sum_{n_s=0}^{n_b} \frac{\delta^{n_s}}{n_s!} \right\}^{-1} \quad (4.58)$$

$$P(n_{sb}) = P(n_{sb} = 0) \frac{\delta^{n_{sb}}}{n_{sb}!} \quad v(n_{sb} < n_b \text{ için}) \quad (4.59)$$

ve

$$P(n_{sb}) = P(n_b) = \frac{P(n_{sb} = 0) \delta^{n_b}}{n_b!} \sum_{n_s=0}^{\infty} \left(\frac{\delta}{n_b}\right)^{n_s}, \quad n_{sb} = n_b \text{ için} \quad (4.60)$$

n_s = limanda beklenen gemilerin sayısı

n_{sb} = yanaşma yerinde beklenen gemilerin sayısı

n_{sw} = bir yanaşma yeri için bekleyen gemilerin beklenen sayısı

sonra

$$\begin{aligned} \bar{n}_s &= \sum_{n_s=0}^{\infty} n_s P(n_s) \\ &= \sum_{n_s=0}^{n_b-1} n_s P(n_s) + n_b \sum_{n_s=n_b}^{\infty} P(n_s) + \sum_{n_s=n_b}^{\infty} (n_s - n_b) P(n_s) \end{aligned} \quad (4.61)$$

ve

$$\bar{n}_s = \bar{n}_{sb} + \bar{n}_{sw} \quad (4.62)$$

Fakat $n_{sb} = \delta$ ise

$$\bar{n}_{sw} = \frac{(1 - R)}{1 - \delta/n_b} \quad (4.63)$$

$$R = \frac{\sum_{i=0}^{n_b} \delta^i / i!}{\sum_{i=0}^{n_b} \delta^i / i! + \delta^{n_b} / n_b! (1 - \delta/n_b)} \quad (4.64)$$

Kararlı durumda n_v 'yi beklenen boş yanaşma yeri sayısı olarak belirlersek, sonra

$$n_v = P(n_s < n_b - 1) \quad (4.65)$$

ve

$$\begin{aligned} n_v &= \sum_{n_s=0}^{n_b-1} (n_b - n_s) P(n_s) \\ &= n_b \left\{ \sum_{n_s=0}^{\infty} P(n_s) \right\} - \left[\sum_{n_s=0}^{n_b-1} n_s P(n_s) + n_b \sum_{n_s=n_b}^{\infty} P(n_s) \right] \end{aligned} \quad (4.66)$$

Sonuç olarak, kararlı durum altında dolu olan n_{sb} beklenen yanaşma yeri sayısını hesaplamak için, aşağıdaki yol izlenir.

$$\begin{aligned} n_{sb} &= \sum_{n_s=0}^{n_b} n_s P(n_s) + \sum_{n_s=n_b+1}^{\infty} n_b P(n_s) \\ &= \sum_{n_s=0}^{n_b} P(n_s) + n_b \left\{ 1 - \sum_{n_s=0}^{n_b} P(n_s) \right\} \end{aligned} \quad (4.67)$$

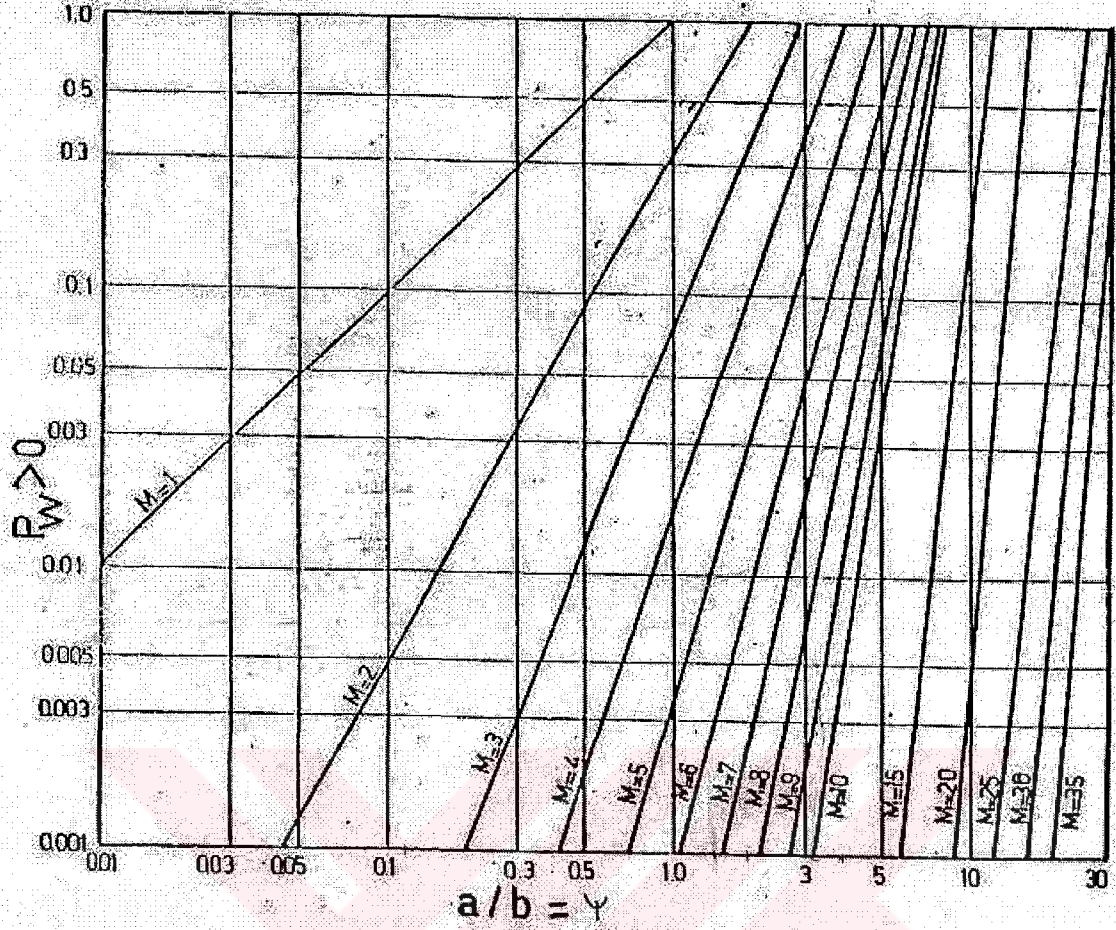
4.3.5 Kuyruk Formülleri

Bir limanda teorik gemi geliş ve servis zamanı dağılımlarının, gözlenen gerçek dağılımlarla uygunluk gösteren tipleri belirlendikten sonra, en uygun yanaşma yeri sayısının belirlenmesinde gerekli olan tıkanıklık analizi için, seçilen kuyruk modeline ait formüllerin kullanılması gerekmektedir.

Aşağıda, gemi gelişleri sınırlanmamış (Poisson), servis zamanı dağılımı $K=1$ için Erlang ve bir'den çok (M adet) yanaşma yerine sahip olan limanlar için Bekleme kuyruğu formülleri verilecektir. Gemilerin herhangi bir süre bekleme olasılığı şöyle hesaplanır:

$$P(> 0) = \left[\frac{(M\theta)^2}{M!(1-\theta)} \right] + \left[\sum_{i=0}^{M-1} \frac{(M\theta)^2}{i!} + \frac{(M\theta)^M}{M!(1-\theta)} \right] \quad (4.68)$$

(4.68) eşitliğinin kolay bir şekilde kullanılabilmesi için, eşitlik Şekil 4.3'de grafik formda verilmiştir.



Şekil 4.3 Gemilerin herhangi bir süre bekleme olasılığının, trafik yoğunluğu ve yanaşma yeri sayısı ile değişimi (Brockmayer, 1960)

Yukarıda kullanılan semboller şunları ifade etmektedir.

$$a = \frac{N}{T} \text{ (saatte gelen ortalama gemi sayısı)} \quad (4.69)$$

t_b = tüm gemiler için toplam servis süresi

$$b = \frac{N}{t_b} \text{ (ortalama yanaşma yeri sayısı)} \quad (4.70)$$

M = yanaşma yeri sayısı

$$\psi = \frac{a}{b} \text{ (trafik yoğunluğu)} \quad (4.71)$$

$$\theta = \frac{\psi}{M} \text{ (yanaşma yeri kullanım verimliliği)} \quad (4.72)$$

Gemilerin t/T_b 'den daha fazla süre bekleme olasılığı;

$$P_w\left(> \frac{t}{T_b}\right) = P_w(> 0) e^{-M(1-\theta)\left(t/T_b\right)} \quad (4.73)$$

kullanım kolaylığı sağlamak için (4.73) eşitliği, Şekil 4.4'de grafik formda verilmiştir.

Herhangi bir zamanda limanda n gemi bulunması ihtimali;

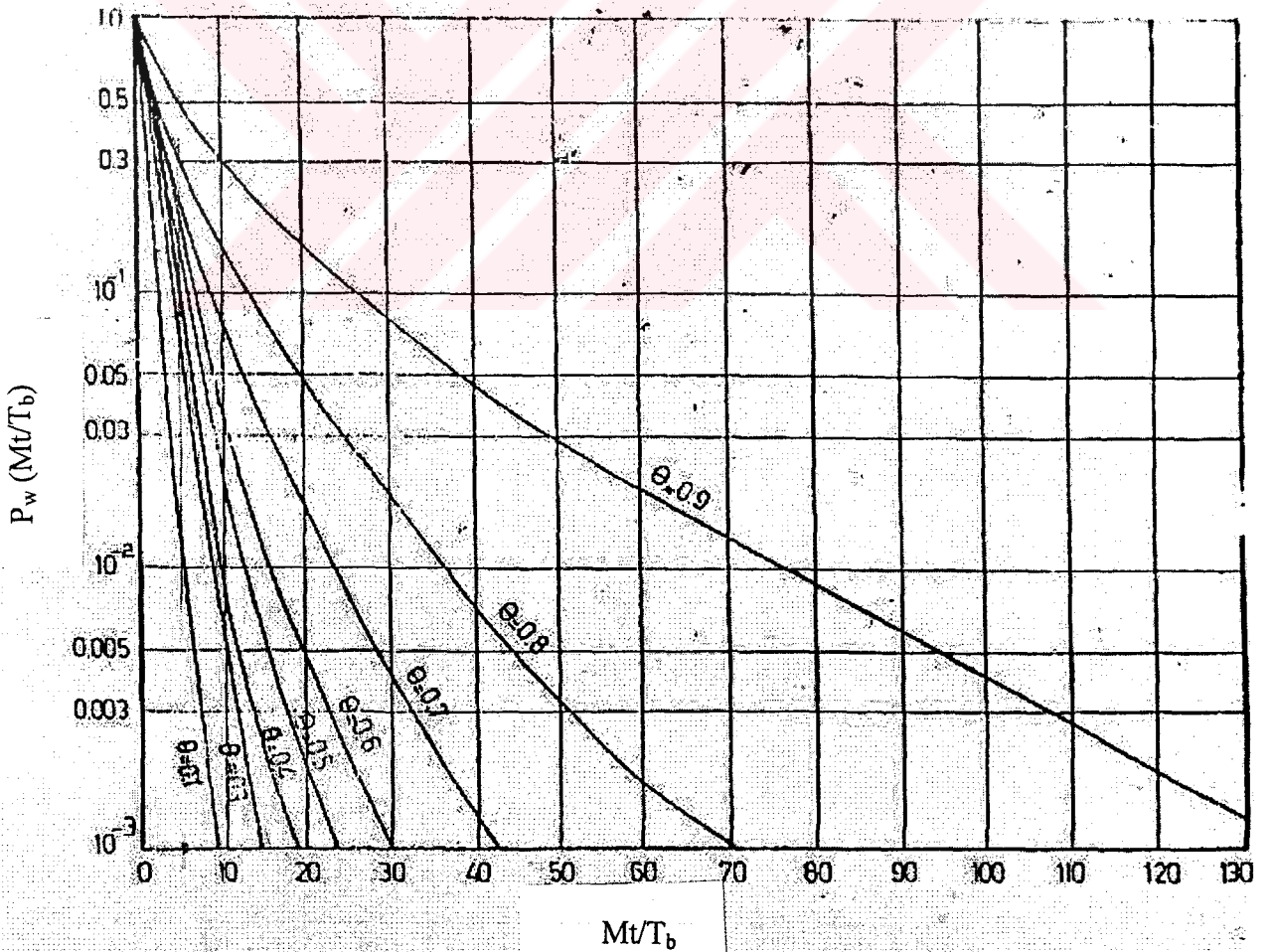
$$n < M \text{ için } P(n) = P_w(> 0) \left[\frac{M!(1-\theta)(M\theta)^{n-M}}{n!} \right] \quad (4.74)$$

$$n \geq M \text{ için } P(n) = P_w(> 0) \left[(1-\theta)(\theta^{n-M}) \right] \quad (4.75)$$

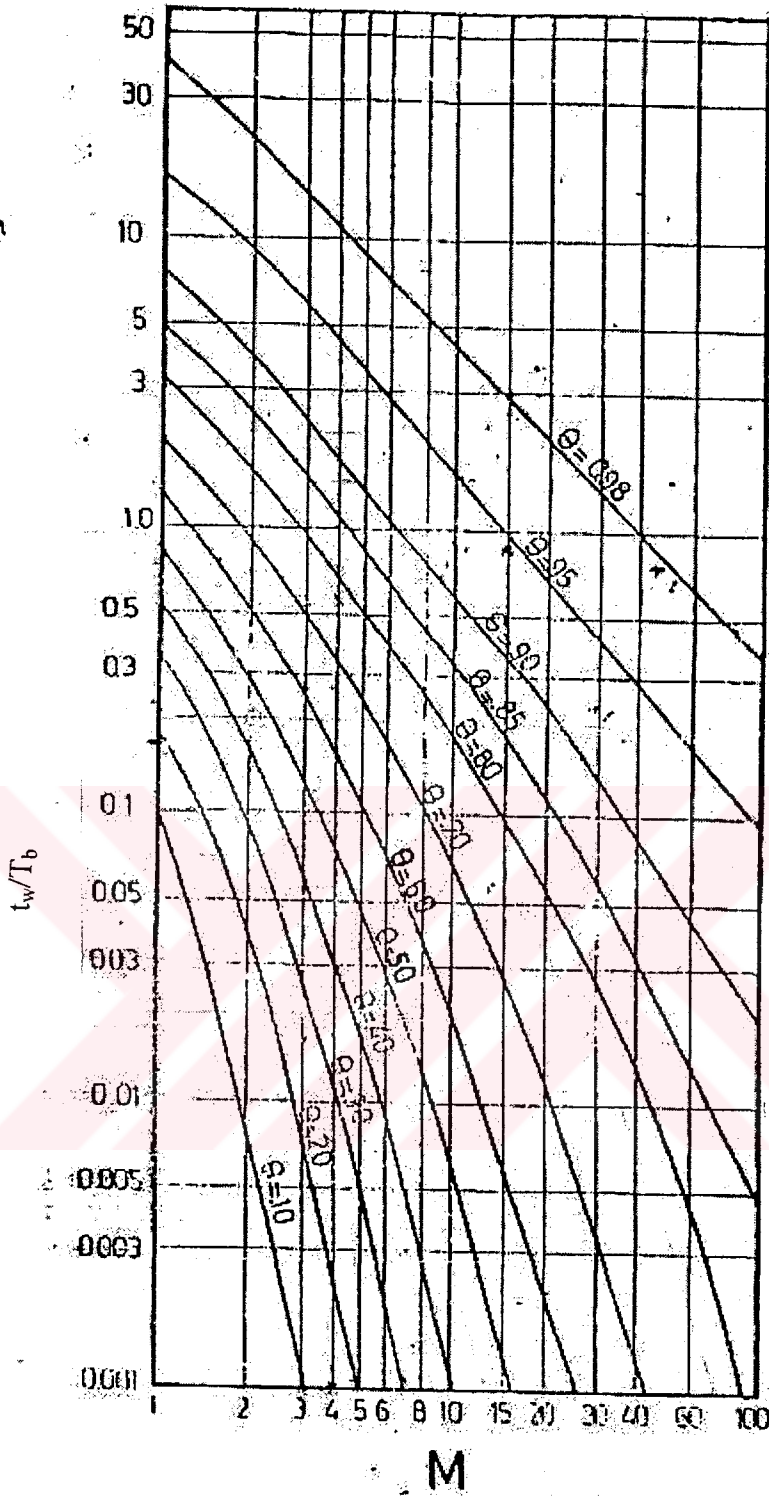
Servis verilen gemilerin ortalama bekleme süresi, T_w ;

$$T_w = \frac{1}{b} \frac{P_w(> 0)}{M(1-\theta)} \quad (4.76)$$

Kullanım kolaylığı için (4.76) eşitliği, Şekil 4.5'de grafik formda verilmiştir.



Şekil 4.4 Beklemelerin $[P_w(Mt/T_b)]$ olma olasılığının Mt/T_b ve θ ile değişimi (Wilkinson, 1953)



Şekil 4.5 Bekleme süresinin servis oranının (t_w/T_b), yanaşma yeri sayısı (M) ve yanaşma yeri kullanım verimliliği ile değişimi (Brockmayer 1960)

Sadece kuyrukta bekleyen gemilerin ortalama bekleme zamanı, t_d ;

$$t_d = \frac{T_w}{P_w(>0)} = \frac{1}{b} \frac{1}{M(1-\theta)}$$

(4.77)

Bütün gemiler arasında, bekleyen gemilerin ortalama sayısı, L;

$$L = \frac{Mt_d}{(1/b) - \theta} = \frac{1}{1-\theta} \quad (4.78)$$

4.3.6 Teorik Olasılık Dağılımlarının Kontrolleri

Gemi gelişleri için Poisson dağılımının ve servis süresi (yanaşma yeri kullanımı) için Erlang dağılımının uygun olup olmadığı, gözlenen gerçek dataların kullanılmasıyla yapılan Khi-kare testiyle kontrol edilir. Khi-kare değeri (4.79) eşitliği ile hesaplanabilir.

$$\chi^2 = \sum \frac{[P(n_a) - f(n_a)]^2}{F(n_a)} \quad (4.79)$$

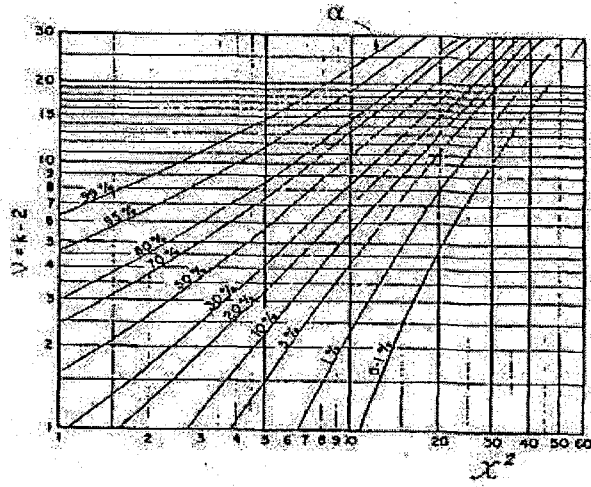
Burada;

f(na): bir limana na adet geminin geldiği frekans

F(na): bir limana na adet geminin gelmesi tahmin edilen teorik frekans

Bu test için alınan örnekte na= 0, 1, 2, ... değerlerine karşılık gelen her olay bağımsız bir sınıf olarak tanımlanır ve F(na)'nın tablolaştırılmış değerlerinin sayısına karşılık gelir. Bu sayı k ile gösterilir. Dağılımın sonunda oluşan küçük F(na) değerleri için yaygın olarak kullanılan kural birbirini izleyen sınıfların tahmin elden frekansının seyrek değerlerini bir sınıfta toplamaktır. Şöyleki sadece bir veya iki tahmin edilen frekans 1'den küçük olmayacak, aynı zamanda gruplamının dışında kalan ise 5'ten büyük olacaktır (Nicolau, 1967).

Buradan hesaplanan χ^2 'den başka incelenen örneğin serbestlik derecesi $\nu = k-2$ 'den hesaplanır. Bu iki değer aşağıdaki şekilde ve istatistik kitaplarında (Gündüz, 1996) ve verilen tablolarda kullanılması ile teorik dağılımla gerçek dağılımın uygunluk derecesi elde edilir ve teorik dağılımın gerçek dağılımı temsil edip edemeyeceğine karar verilir.



Şekil 4.6 Khi-Kare test grafiği (Mettam, 1968)

4.4 Liman Simülasyon Modelleri

4.4.1 Simülasyon nedir?

Genelde, simülasyon varolan ya da tasarlanan gerçeklerin bir taklididir. Bir başka deyişle, simülasyon bazı sistemlerin davranışını tarif eden belirli matematiksel ve mantıksal modellerle yürütülen deneyler için sayısal bir tekniktir. Matematiksel simülasyonlar kapalı formdaki matematiksel işlemlerin çözümleri olmadığında veya sistemi temsil eden bir seri diferansiyel denklemlerin çözümlerinden daha kolay olduğunda kullanılır. Zaman simülasyonda genel olarak bağımsız bir değişken olmasına rağmen, bunun en iyi yaklaşım olduğu söylenemez. Bir simülasyon modeli kurmada en önemli konu, gerçek sistem ile simülasyon arasındaki ilişkileri kurmaktır, sadece verileri denklemlere dökmek değildir. Simülasyon modelinin asıl avantajı gerçekleri arzu edilene en yakın bir şekilde temsil edebilmesidir.

Simülasyon liman işletim analizlerinde veya planlanmasında bir aşama olarak kullanılmaktadır. Bilgisayar benzeşimi genellikle pahalıdır ve zaman alıcı olabilmektedir. Sonuç olarak, liman veya terminalin inşa edilmesinden sonra bir sistem kontrol aracı olarak alternatif metotların kontrolünü, sonuçların zaman hatlarını, mevcut veri bankasını ve simülasyon modelinin kullanım potansiyelini değerlendirmek zorunludur. Eğer önerilen sistemin (işletim yöntemlerini içeren) detayları kesin olarak bilinmiyorsa, simülasyon modelinin geçerliliğinden söz etmek oldukça zordur. Eğer modeli kullanan sistemin sonucu gerçek sistemin sonucundan farklı ise geçerlilik konusunda problem yaşanabilir. Simülasyon modeli bir kez kabul edildiğinde; uygun olmayan kullanımlara karşı büyük bir direnç göstermelidir. Sonuçlar tahminidir ve karar alırken kesin sonuç olarak kullanılmamalıdır.

Matematiksel temelli bilgisayar simülasyonlarını kullanmadan önce, bazı temel kabuller yapılır. Bunlar;

- 1-) Sonlu farklar modelinin tekniği, simülasyon dilinin kullanımından daha mı etkilidir?
- 2-) Uygulanabiliyorsa hangi zaman adımı anlamlıdır?
- 3-) Simülasyonda geri besleme gerekir mi? (Birçok liman planlanması probleminde bu uygulanır)
- 4-) Programlamada hangi dil seçenekleri vardır ve sınırlamaları nelerdir?

5-) Hangi veri tabanı mevcuttur? İlave veriler nereden temin edilebilir ve veriler ne derece doğrudur?

6-) Önerilen model ön tasarımın bir safhası mı yoksa sistemin tasarımı ve/veya kontrolümüdür veya gerçek zamanlı veya geri besleme kontrolü için mi tasarlanmıştır?

7-) Eğer gerçek zaman ya da geri besleme kontrolü için kullanılırsa, tüm uygun ekonomik faktörler ve işletim faktörleri, ilgilenilen zaman aralığında modellenebilir mi? Tüm akışlar bir bütün oluşturuyor mu?

8-) Simülasyon analizcileri ve mevcut programcılar deneyimli midir?

9-) Beklenen maliyet ve simülasyon modelinin değeri nedir?

Bu sorular, bir problemin simülasyonuna başlamadan önce cevaplanması gereken sorulardır. Simülasyonun tüm dezavantajları bilinirse ve doğru kabuller ile doğru bir şekilde uygulanırsa güçlü bir tasarım ve kontrol olanağı sağlar. Simülasyon modeli gerçek sistemin soyut bir göstergesidir.

Sonuç olarak, bir bilgisayar seçmeden önce ihtiyacı doğru belirlemek gerekir. Tüm bu şartlarla, bilgisayar simülasyonunun güçlü bir eleman, kompleks bir durumu analiz etmeye yetenekli tek metot ve kısmen bilinen tek sistem olduğu unutulmamalıdır. Aynı zamanda bu bize mantıklı ticaret analizi için bir yaklaşım verir. Yeni simülasyon parametreleri, hassasiyet teknikleri mevcuttur ve bunlara bağlı olarak optimizasyon yöntemleri (sınırlı sayıda parametreler için) geliştirilmektedir.

Simülasyon liman modellenmesinde en yaygın şekilde kullanılan yaklaşımdır. Liman planlanması ve kontrolü amacıyla yapılan simülasyon modellerinin büyüklüğü, detaylandırılma derecesi ve amacı büyük ölçüde değişiklikler göstermektedir. Simülasyon, liman yönetimi bilgi sistemleri modelinde de kullanılabilir. Liman işletme, kontrol ve yönetim simülasyon modeli MIT genel bir modeldir. Liman işletimlerini gerçekleştirmek ve liman genişlemesinin etkilerini belirlemek ya da çalışma kurallarını değiştirmek için, UNCTAD (1969) bir liman işletim modelini geliştirmiştir. PORTSIM simülasyon modeli, bir liman yatırım projesi değerlendirmesinde Dünya Bankası tarafından kullanılmıştır.

HARSOL optimum liman (terminal) boyutu elde etmek için geliştirilmiştir. Daha az olarak kullanılan diğer bir model ise Colombia Taşıma Çalışmalarında Harvard ve Brooking tarafından geliştirilmiş modeldir.

Liman simülasyonunun bu örnekleri özel değildir, ne de özel amaçlar için en etkili ve gerekli bir şekilde sunulan modellerdir. Burada tipik simülasyon model yapılarını göstermek için verilecektir. Her ne kadar simülasyon modelleri, genelde özel bir durumu göstermek için yapılandırılrsa da ayrıntılı bir şekilde belirtilmelidir. Bundan dolayı, varolan simülasyon modelleri için değişiklik, her zaman böyle modelleri uygulamadan önce gerekir. Simülasyon modelinin bir limanın benzeri olduğunu hatırlamak önemlidir. Liman işletimlerini ya da model için farklı girişlerle birçok deneyleri gerektiren tasarımı optimize etmez.

4.4.2 Planlama ve Kontrol Araçları Olarak Bilgisayar Benzeşim Modelleri

Genellikle geçerli ve temel olan hipotez, geniş güncel bilgi altyapısı, daha iyi bilgi transferi, veri işleme, liman planlanması ve analizidir. Sayısal simülasyon modelleri, veri değerlendirmek için etkili bir teknik sağlar.

Simülasyon modelleri genellikle dört unsuru gerektirir:

- 1-) Veri toplama sistemi
- 2-) Veri altyapısı
- 3-) Bilgi transfer sistemi için bir yapı
- 4-) Bir veri belleği ve bilgi çekme sistemi

Simülasyon modellenmesinde asıl karar, genellikle açık/kapalı bilgi toplama ve bilgi geri beslemesi arasındadır. Bu da, etkili trafik, ekipman, insan gücü, diğer gerekli bilgi ve gerekli kontrol için açık bilgi toplama sistemiyle etkili bir şekilde bir araya getirilmesiyle bulunur.

Modelden sonra yapılması gereken, veri toplama ve bilgi geri beslemesi arasında zaman aralığı bağlantısının yapılandırılmasıdır.

Bir simülasyon modeli, ilk olarak iç ve dış kararlar ağının gelişimiyle, bağlantısıyla bilgi giriş çıkışlarıyla yapılandırılabilir. Böyle bir ağ, operasyonların detaylarını içerir ve veri toplama veya veri giriş noktalarına ek olarak alternatif kararları kabul eder. Temel simülasyon modeli, basit matematiksel ifadeleri oluşturduğuna göre bunu yapılandırmak oldukça zordur.

Model liman işletim kararlarının tahmini etkilerini belirlemek için bir tahmin etme sistemi gerçekleştirilir. Genel olarak, önceden tahmin edilen yazılım ve yönetim bilgi sistemini simülasyon modelinden ayıran bir model olarak daha etkili bir şekilde amaçlarına hizmet eder.

Bir simülasyon modeli, gerçek zamanlı veri toplama aygıtlarının etkilerini ve de hafızadaki verilerin çeşitli alternatif yöntemlerle değerlendirilmesi için de tasarlanabilir.

Tüm fiziksel ve yazılım durumlarıyla yönetim bilgi sistemini uygun bir şekilde benzeşim sağlayan, önerilen limanın çevresinde geliştirilen simülasyon, çalışılan modeli bildirebilir ve analitik olarak kullanabilir.

4.4.3 PORTSIM

Dünya Bankası tarafından geliştirilen bu liman simülasyon modeli herhangi bir liman şeklinin işletmesini minimum kullanıcı ile temsil edebilmektedir. Yönetim amacıyla değil proje değerlendirme maksadıyla tasarlanmıştır. Kullanıcının, liman şeklinin değişmesi, kar/maliyet değerlendirmesi ve mevcut limanların ince detayları ile ilgilenmediği kabul edilmektedir. Bu nedenle gerekli olan veriler ve elde edilen çıktı verileri, anlamlı ve ayrıntılı olmasına rağmen, globaldir ve sundurma operasyonlarının detayları, yük elleçleme ve liman operasyonlarının geri alanlardaki işletimleri v.b. dikkate alınmamaktadır. Gerçekte kullanıcı eşit şartlar altında farklı liman şekillerini kullanmaktadır. Çok yanaşma yerli, çok kuyruk sistemli benzeştirilen bir liman, aşağıda verilen kullanıcı ayrıntılarıyla tanımlanmaktadır.

- 1-) Gemi tiplerinin sayısı ve her gemi tipinin tarifi (uzunluk, su çekimi, ambar sayısı, varışların model ve sayısı ve de yanaşma yerinde geçen toplam süre)
- 2-) Yanaşma yeri sayısı ve her yanaşma yerinin tarifi (uzunluk, derinlik, ekipman)
- 3-) Yanaşma yerinin uygunluğu ve her gemi tipi için üstünlükleri
- 4-) Geminin yanaşma önceliği
- 5-) Gemi yanaşma yeri ve liman ekipmanı için birim maliyetler

Liman simülasyon modelinin sonuçları aşağıdaki gibi gruplandırılır.

- a) Zamanla ilgili işletimlerin özeti (bekleme zamanı, kullanım oranı, limanda geçen toplam zaman)
- b) Maliyetle ilgili işletimlerin özeti ve a şıkkındaki sonuçların maliyet açısından değerlendirilmeleri.
- c) Çeşitli işletme sonuçları (gecikme ihtimali, maksimum kuyruk uzunluğu v.b.)

Rasgele değişkenler: Her bir gemi tipi iki rasgele değişkene sahiptir. Bunlar; varışlararası zaman ve servis süresidir. Her iki dağılım, Erlang dağılımı olarak verilebilir, kullanıcı K değerini ve her biri için ortalamayı bulur.

Kuyruk yapısı ve yönetimi: Simülasyon sırasında üretilen her geminin gelişi, model tarafından oluşturulan tek bir kuyruğa katılır. Bu kuyruk bir bekleme kuyruğu olarak dikkate alınabilir. Ancak, tüm gemiler kuyrukta zaman harcamazlar, gemi limana geldiğinde kullanabileceği yanaşma yeri durumuna bağlıdır. Gelen her bir gemi, hem yanaşma önceliğine hem de varış zamanına göre kuyrukta yerleştirilir. Eğer tüm gemi tipleri aynı yanaşma yeri önceliğine sahipse yani üstünlük yoksa, yeni gelen gemi kuyrukta sonuncu olacaktır. Yanaşma yerlerine gemilerin dağıtılması, her geliş ve gemi gidişinden sonra kontrol edilerek gerçekleştirilmektedir. Eğer yanaşma yeri uygunsa, alanı doldurmak için seçilen gemi, kullanıcı tarafından seçilen kuyruk yönetimi metoduna bağlı olarak oluşturulan iki yoldan biri tercih edilerek yerleştirilebilir:

Kuyruk yönetimi altındaki 1 no'lu tercihte, yanaşma yerini kullanmaya izin verilen ve büyüklüğü alanın kullanımına uygun gemilere bakmak için kuyruk baştan sona incelenecektir. Bu şema altında, daha büyük gemi mevcut yanaşma yerine yerleştirilmezse, daha küçük ve daha düşük öncelikli gemi yanaştırılabilir.

Kuyruk yönetimi altında 2 no'lu tercih seçilirse, alanın bölüştürülmesi aşağıda açıklandığı gibi olacaktır. Yanaşma önceliği en yüksek olan gemi, yanaşma yerini kullanıma en uygun olandır, mevcut yer yeterli olmadığında gemi yanaştırılmayacak ve diğer gemilerde dikkate alınmayacaktır. Diğer bir daha küçük, düşük öncelikli gemiler bekliyor olsa bile kesin öncelik korunmaktadır. Bu da tüm yüksek üstünlüklü gemilere servis verilmeden diğerlerinin yanaşmasına izin verilmeyeceği anlamına gelmektedir. Bir geminin yanaşma yerine yerleştirilmesinden sonra, kalan yanaşma yeri uzunluğu kontrol edilerek yerleştirilmeye buradan devam edilir. Bu durumda, (hangi kuyruk kullanılıyorsa) aynı tipteki kuyruk kontrolü bir kez daha yapılır.

Gemi servis metotları: Gemi servisleri için tercih edilebilecek iki yöntem vardır. Her iki kargo yükleme durumunda da bir gemi için hesap yapılır.

Birinci yöntem, yükleme ve boşaltma işlerinde kullanılan ekipmanların etkilerini içermektedir. Geminin yükü hesaplanır daha sonra bu yük miktarı, ambar sayısına göre eşit bir şekilde dağıtılır. Her bir ambara hizmet vermek üzere bir kreyn atanır. Tüm ambarlardaki tüm yükler tamamen elleçlendikten sonra gemi ayrılır. Model, ihraç ve ithal yükü arasında ayırım yapabilir ve her bir gemi tipi için yükleme/boşaltma tonajlarının özetini verir. Kargo bütün ambarlara dağıtıldıktan sonra gemi ayrılır. Model giriş ve çıkış kargosu arasında ayrılabilir ve her bir gemi tipi için yükleme ve boşaltma tonajların özetini verir.

İkinci yöntem, ambar ve kreyn aktivitelerinin dikkate alınmadığı bir varlık olarak gemiyi işleme tabi tutar. Bu gemi tipi için dağılımdan elde edilen servis süresi, servis süresi olarak alınır. Modelin uygulanmasında farklı gemi tipleri, metotlardan birini kullanabilir.

Bir geminin yanaşma yerine yerleştirilmesi: Bir gemi yanaşma yerine yerleştirilmeden önce birkaç kriter yerine getirilmelidir:

- 1-) Yanaşma yeri bu gemi tipi için “kullanabilir” diye beyan etmelidir.
- 2-) Geminin su çekimi yanaşma yeri derinliğinden daha az olmalıdır.
- 3-) Gemiyi yerleştirebilmek için yeterince alan olmalıdır.
- 4-) Aynı yer için bekleyen ve yüksek öncelikli tüm gemilere, eğer kuyruk işletim kuralını kullanıyorsa, öncelikle yanaştırılmalıdır.
- 5-) Geminin kendi kreyni olmadığı durumlarda gemide çalışmaya başlamak için en azından bir rıhtım kreynine ihtiyaç vardır. Gemi kendi vinci veya servis verebilecek rıhtım vinci mevcut değilse, bu demektir ki tüm rıhtım vinçleri meşguldür, geminin hizmet verilinceye kadar yanaşma yeri alanına girmesine izin verilmez. Bir gemi yanaşma yerine yerleştirildiğinde, geminin uzunluğu mevcut yanaşma yeri uzunluğundan çıkarılır ve kalan alan diğer gemilerin kullanımı için uygun hale getirilir. Bir gemiye, birden fazla yanaşma yeri kullanılmasına izin verilirse gemi yanaşma yeri için kuyrukta beklemektedir.

Yanaşma yeri ekipmanı simülasyonunda eğer mevcutsa rıhtım vinci geminin kendi vincine tercih edilir. Bir gemiye verilen rıhtım vinci sayısı aşağıdakilerden küçük olanına göre belirlenir.

- 1-) Mevcut kreyn sayısı
- 2-) Geminin ihtiyaç duyduğu kreyn sayısı

Eğer gemiye ihtiyaç duyduğundan daha az sayıda rıhtım kreyni tahsis edilirse, geminin kendi vinci (eğer varsa) diğer ambarlara hizmet vermeye başlayacaktır. Diğer gemilerde çalışmakta olan rıhtım kreyninin serbest kalması durumunda, geminin kendi vinci çalışıyor olsa bile hemen bekleyen ilk ambara atanır.

Kararlı simulasyon hali: Tüm liman aktiviteli bir şekilde kararlı durum halinde çalışır. Bununla birlikte, simülasyon modeli boş bir durumda başlar ve hemen denge durumunu göstermez. Model, yapılan istatistiklerin toplanmadığı durumda, kararlı duruma yaklaşmak için zaman periyodunun özelleştirilmesine izin verir. Zamanı bilmek için göreceli kararlı duruma ulaşan sisteme ihtiyaç duyulur. Sistemi yerleştiren zamanda yaklaşık olarak noktayı

gösteren gemi bekleme zamanının engel tablolarını üretmek için programın özel olarak çalıştırılmasına ihtiyaç duyulur (simülasyon ilerledikçe ortalama bekleme zamanındaki salınımlar azalmaktadır). Bu zaman minimum çalışma zamanıdır.

Çok yönlü kopyalar: Program, aynı liman konfigürasyonunun çok yönlü kopyalarını yapabilir. Bir kopyanın sonuçlanması durumu, gelecek kopyanın başlaması durumu olarak algılanır, bu bir liman konfigürasyonu için veri gönderilmesi anlamındadır. Eşit uzunluktaki simülasyon serileri istatistiksel toplama amaçlarına bölünen devam eden simülasyonun çalışmasını etkiler. Bu döngüde, kullanıcı böyle yapmaya kendini zorunlu hissederse, simülasyon sonuçlarında elde edilen güven aralıkları üzerinde gerekli incelemeler yapılarak gözden geçirilebilir.

Limana Simülasyon modelinin kullanımı: Başlangıçta belirtildiği gibi model, liman projesinin ekonomik değerlendirmesi için gerekli olan işletim parametrelerini sağlar. Modeli birkaç kez çalıştırılması gerekir ve bunlar aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır:

- 1-) Çalıştırma sürecinin belirlenmesi için çalıştırma
- 2-) Kalibrasyon için çalıştırma
- 3-) Sonuç için çalıştırma

1-) Çalıştırma sürecinin belirlenmesi için çalıştırma: Çalıştırma sürecini belirlenmesinde bu program çalıştırmaları isteğe bağlıdır. Kullanıcı kararlı durum sonuçlarını sağlamak için uygun bir süre almalıdır, örneğin 18 ay. Ancak bu çalışma periyodu çok uzunsa, tüm kalibrasyonlarda zaman kaybına neden olacaktır ve bunu izleyen üretim çalıştırmaları da çok uzun sürecektir. Diğer taraftan, çeşitli trafik varyasyonları altında karmaşık liman durumları için tahmin edilen çalışma zamanı gerekenden daha küçük olabilir, bu durumda model bazı gemi tipleri için çarpıtılmış sonuçlar verecektir.

Çalışma zamanını belirleyen makinayı çalıştırmadaki, toplam simülasyon süresi; simülasyondaki her gemi tipi için ortalama bekleme zamanının belirlenmesi için yeterince uzun olmalıdır. Model, kullanıcının bekleme zamanını yeterince doğru kurulduğu inancını sağlayabilmek için simülasyon süresine karşı bekleme zamanının grafiğini verir.

2-) Kalibrasyon çalıştırması: Çalışma periyodunun belirlenmesinde, liman simülasyon model kullanıcıları kalibrasyon modeline odaklanabilirler. Kullanıcılar, gerçekte liman işletimlerini gösteren olasılık dağılımlarının çalıştığından emin olmak isterler. Bu noktada kullanıcılar, akım liman konfigürasyonu ile çalışırlar ve son zamanlarda kullanılan trafik seviyelerini kullanırlar, aynı zamanda her bir gemi için ortalama bekleme zamanlarına, standart sapmaya, yanaşma yerinde gözlemlenen ortalama zamanlara ve varış aralarındaki zamanlara sahiptir.

Gerçek dünyada gözlemlenen, eğer ihtiyaç duyulursa, modelin işletim sonuçlarına benzeyinceye kadar dağılım olasılığının şeklini belirleyen parametrelerin kullanımı kontrol edilir. Model bir kez düzenlenir, dağılımın şekli, üretim çalışmaları için sabit tutulur, gerektirme çalışmalarını takip eden, liman trafiğinin her şekli, ticaret yapısı, orjin, varılacak yer ve donanma karakteristikleri gibi değerler değişmez. Çok basit durumlara ek olarak, düzenleme çalışmalarını göstermeyen birkaç örnek vardır. Örneğin; yeni limanlar, küçük veya geçmiş işletimleri olmayan limanlar veya gelecekte farklı trafik tipini gözlemleye limanlar v.b. Tüm bu durumlarda, kullanıcının kararı ve benzer durumlardaki geçmiş deneyimler, kullanılan dağılımı belirleyecektir

3-) *Üretim yapan program çalışmaları:* Üretim çalışmaları, kullanıcının isteklerini belirttikten sonra başlayabilir.

a) Çalışma periyodu

b) Erlang olasılık dağılımının kullanılması

Genellikle üretim çalışmalarının iki serisi proje alternatiflerine uygun gelen ve gelmeyen şeklinde gösterilir. Her bir seri, gerekli olan kadar birçok yıl için yıllık proje ömrü bir çalıştırmaya sahip olacaktır. (her biri birden daha fazla çalıştırma içerebilir.) Sonuç olarak, her iki serinin birleşimi, liman alanında sahip olunan projenin ekonomik etkilerini belirlemek için kullanıcıya olanak sağlar (Liman ve hinterland bağlantılarının daha erken geriye yerleştirilmesi ve liman simülasyon modelinin parçası olmaması gibi).

4.4.4 UNCTAD Liman İşletim Modeli

Bir liman işletimini değerlendirmek ve limanı etkileyen problemleri belirlemek, liman genişleme etkilerini incelemek için tasarlanan bir simülasyon modelidir. İstatistiklere ve işletim çalışmalarına dayanarak liman işletim sistemi simülasyonu yapılır. Bu amaçlarla liman demirleme alanları, rıhtımlar, elleçleme tesisleri, depolama alanları v.b. alt sistemlerin sayısını hazırlayan bir işletim sistemi dikkate alınır. Bu alt sistemlerin bir veya daha fazlasında her zaman dar boğaz vardır veya gelecekte meydana gelecektir. İşletim sistemlerinin bir kısmından bu kapasiteyi sınırlama faktörlerini uzaklaştırma sisteminin diğer bir kısmında yenilerin görünüşüne yol açabilir. Sonuç olarak asıl problem liman kapasitesini arttırmak için kaldırılması gereken sınırları belirlemektir.

Optimum çözüm, bir objektif fonksiyonun kullanılmasıyla veya her bir özel durum gibi liman için kurulan gelişim amaçları için ekonomik seçimi belirleyen kriter bulunur.

Liman gelişiminde karar almada, liman planlanmasını sırasıyla veren Şekil 4.7'den faydalanılabilir.

UNCTAD liman simülasyon programı, veri toplama, tahmin etme ve trafik üretimi için uydu programlarına dayanmaktadır. Veri toplama programı için giriş verileri aşağıda belirtilen diğer bilgileri ihtiva eder.

- Gemi büyüklüğü
- Gemi tipi
- İthal edilen kargonun toplam hacmi
- Genel olarak ithal edilen yükün tipi
- İthal edilen kargonun toplam hacmi
- Genel olarak ihraç edilen yükün tipi
- Ayrılan ihraç yükü oranı

Tahmin programı, gelecekteki gemi tipleri ve büyüklükleri, yük tipleri ve hacimleri ve diğer faktörlerden elde edilen bilgi ile çıktı verisini birleştirir. Gemi ve yük trafik talebini üretmek için program aşağıdaki girdi verilerini kullanır:

- Limanda gerçekleşen ardışık varışlar arasındaki zaman aralığı
- Kargo ve gemilerin önceliği
- Yüklenen boşaltılan genel kargo oranı
- Her bir geminin toplam yükleme/boşaltma sayısı
- Genel kargo ziyaretlerinin olmaması
- Gelen geminin su çekimi ve uzunluğu
- Gemilere verilen pilotaj ve römork hizmeti

Sonuç olarak, simülasyon programı çeşitli gemi trafiği, kargo akışı modelleri ve işletim durumları için tüm liman elemanlarının işletimlerini üretir. Göz önünde bulundurulan giriş verileri aşağıda verilmiştir:

- Kargo yükleme ve boşaltma
- Gemi içindeki kargonun hacmi
- Limanın bir bölümünden diğer bir bölümüne geçişteki darboğaz

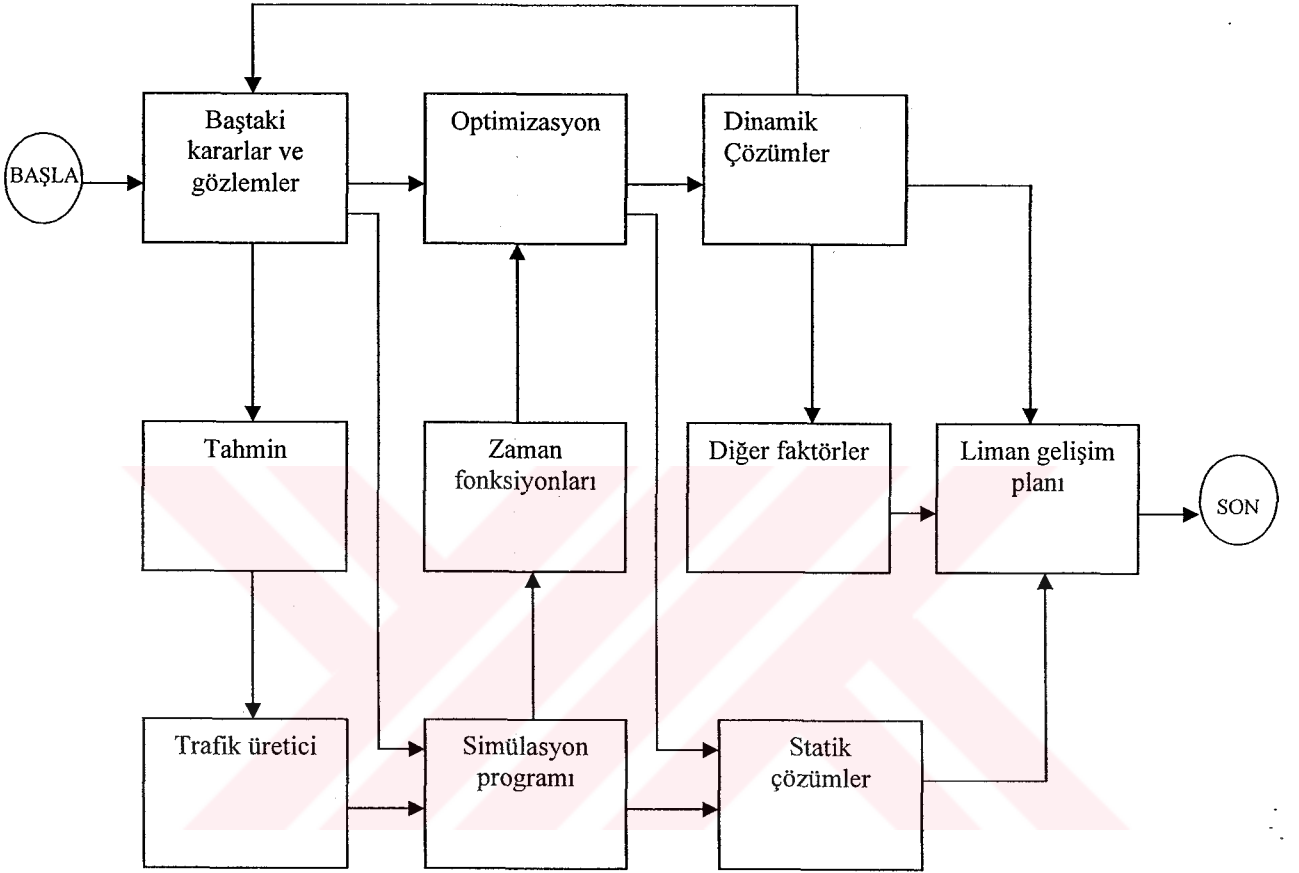
- İhracat ve ithalat
- Liman bölge verisi
- Pilotaj ve römorkör ile ilgili veri
- İthalat kargosu için veri
- Kara içindeki taşıma
- Limanda depolama ve kargo elleçlenmesi
- Yükleme ve boşaltma ekipmanı
- Yanaşma yeri kapasitesi
- Kargo elleçlenmesinin farklı yolları
- Zaman

Zamana bağlı maliyeti hesaplamak için, sistemde kargo ve geminin harcadığı zamanı belirlemeliyiz. Bu zaman fonksiyonları hesaplanır veya mevcut verilere bağlı olarak tahmin edilir.

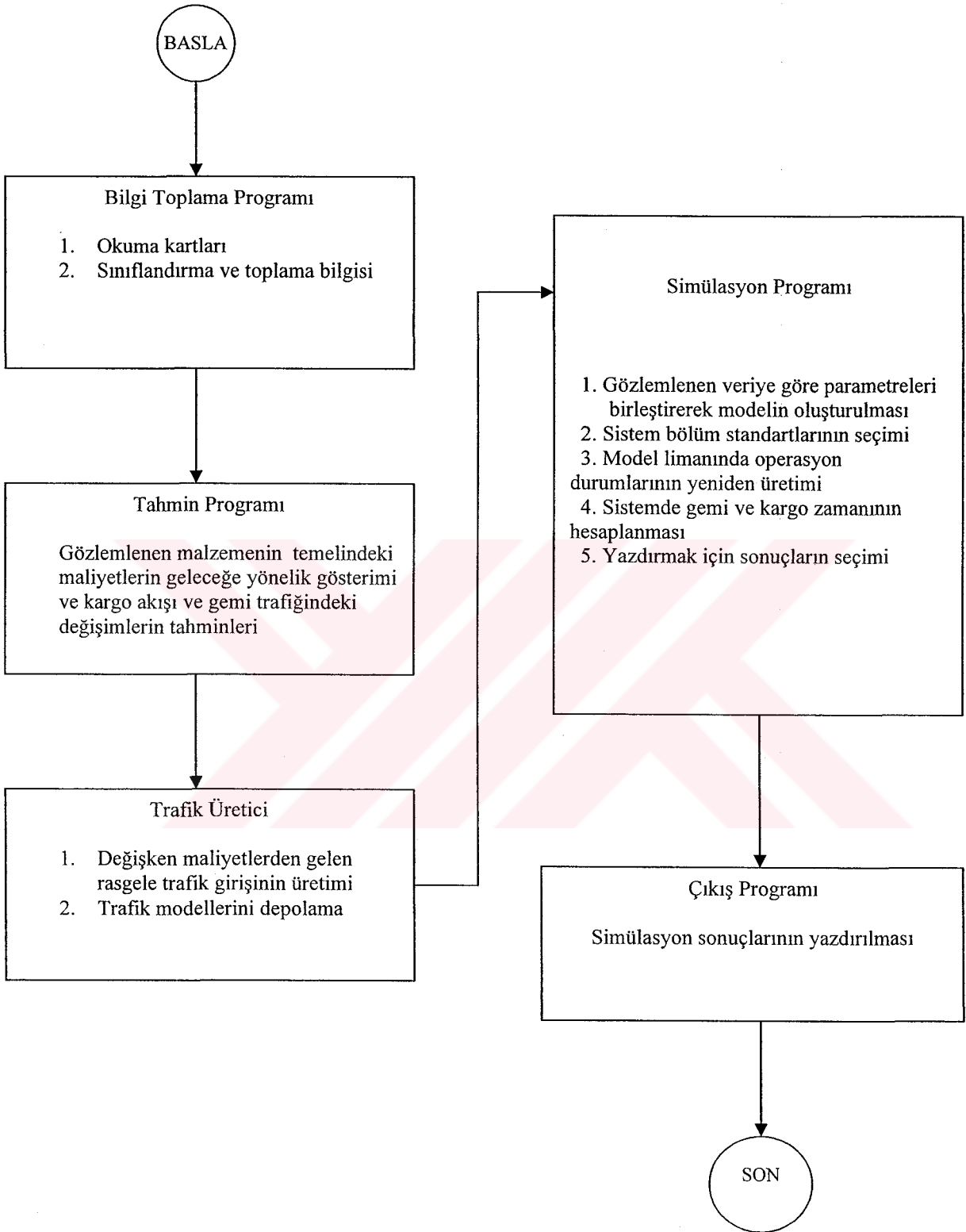
Optimizasyon programı, amaç fonksiyonunu optimize edecek önceden belirlenmiş alt programların kombinasyonunu bulur. Genelde kullanılan alt sistem kombinasyon örnekleri, seyir sistemleri, dalgakıranlar, mevcut iskeleler, gelecekteki iskeleler, römorkörler, gerçek yanaşma yerleri, kreynler, kamyonlar, depolama, rampalar, dolaşım alanı, v.b.'dir. Bu simülasyon programları için giriş verileri, yatırım maliyetlerini, bakım maliyetlerini, politikanın tipini, işletim maliyetlerini, farklı gemi tipleri için günlük toplam maliyeti içerir.

UNCTAD modeli, minimum maliyet veya maksimum kapasiteyle limanın bir bütün olarak gelişimiyle statik durumlar altında liman işletimlerinin optimizasyonunu içine alan liman işletimlerinin rasyonel kullanımları için geliştirilmiştir. Benzer olarak, alternatif yatırım şemaları ve işletim kuralları gözönünde bulundurulabilir. UNCTAD modeli yalnızca tek bir limanı dikkate alır, iki veya daha fazla liman arasındaki etkileşimi dikkate almaz.

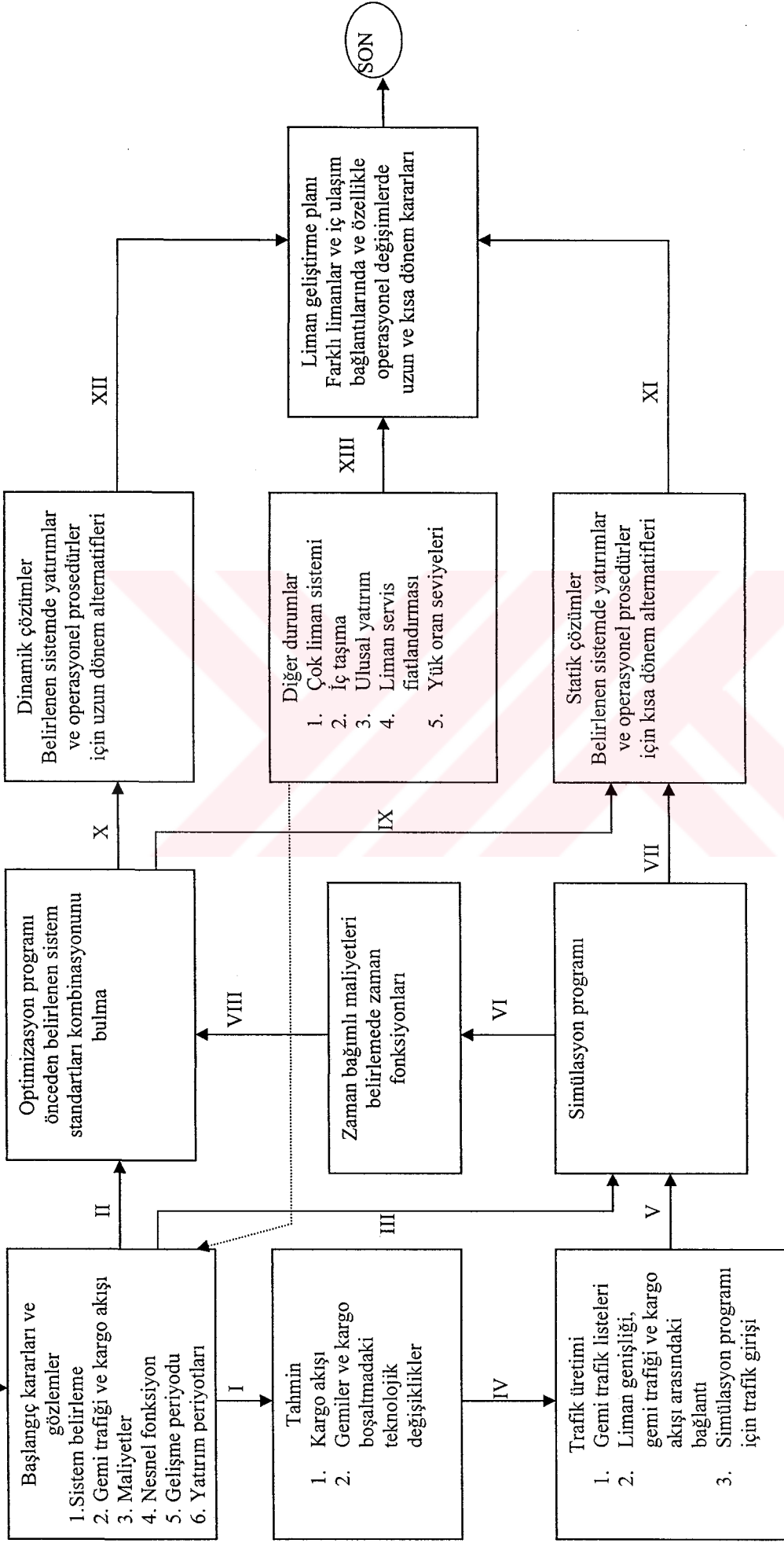
UNCTAD liman simülasyon modelinin temel mantığı Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Sonuç olarak karar sırası, Şekil 4.9'da gösterilen modelde kullanılmıştır.



Şekil 4.7 Liman gelişim planlaması (UNCTAD, 1969)



Şekil 4.8 Simülasyon programının fonksiyonları (UNCTAD, 1969)

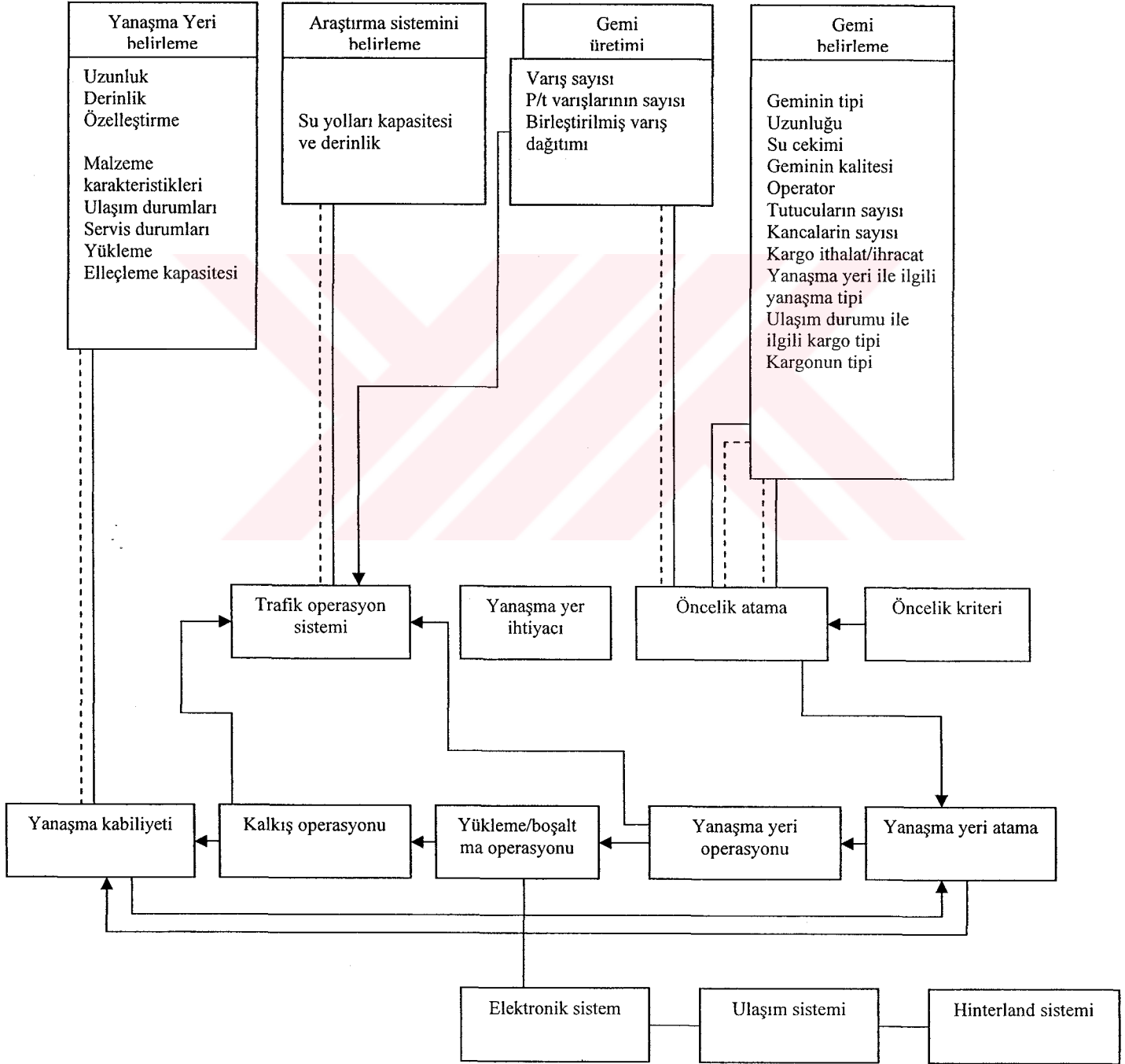


Şekil 4.9 Liman simülasyon modeli karar akışı (UNCTAD, 1969)

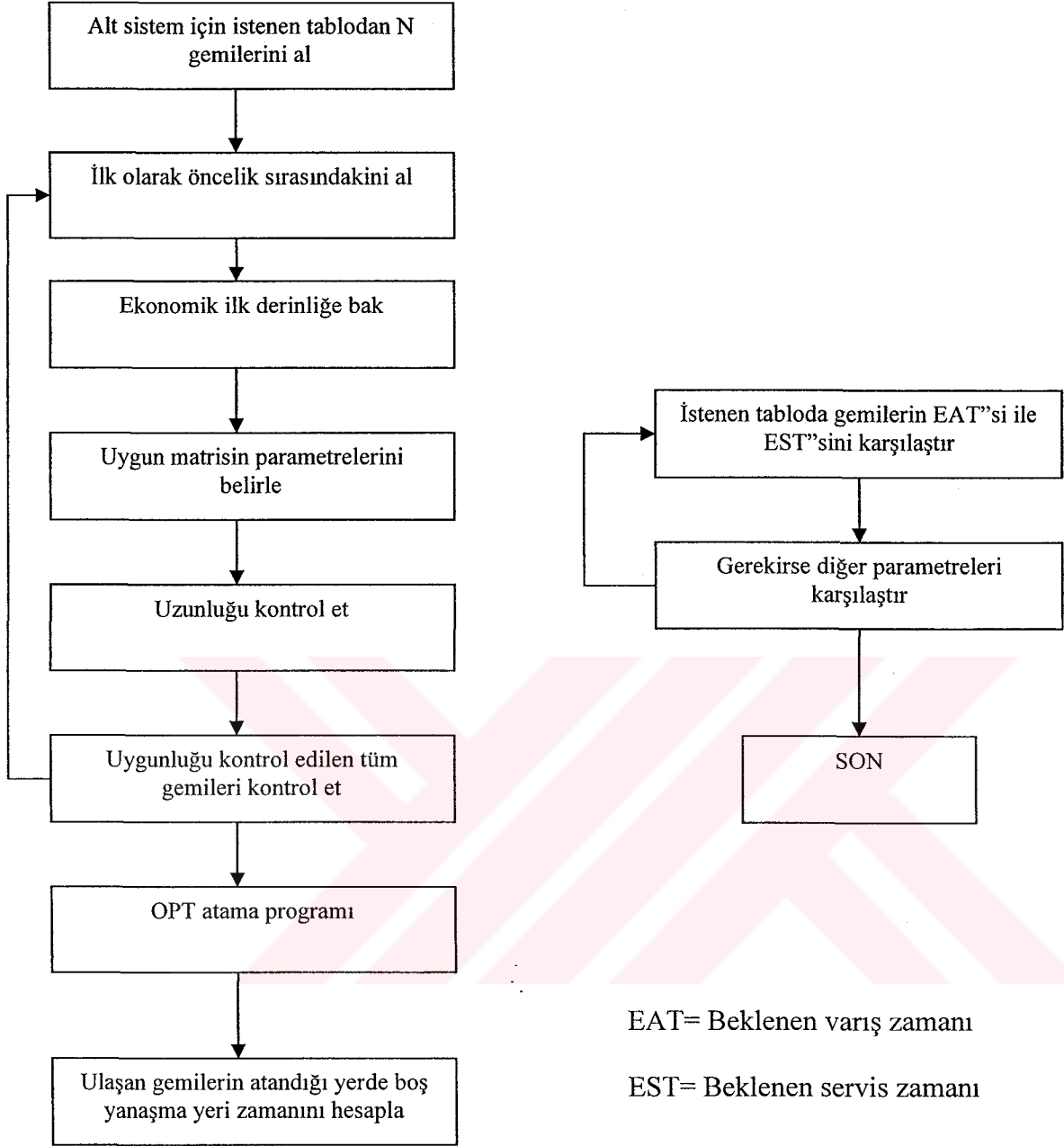
4.4.5 MIT Liman simülasyonu

Bu genel simülasyon modeli Şekil 4.9’da verilen yöntem ile belirlenebilir. Bu simülasyon modeli, çok amaçlı bir liman analizini kabul eder. Şekil 4.10 program akış diyagramını tayin etmeyi gösterir.

Gemilerin atanması öncelik sırasına göre yapılır. Diğer program, metodu daha önceki açıklamalarla ilişkilendirilir, burada aynı zamanda birkaç gemi için atama yapılması istenir.



Şekil 4.10 Simülasyon model mantığı (MIT)



Şekil 4.11 Atama programı akış diyagramı (MIT)

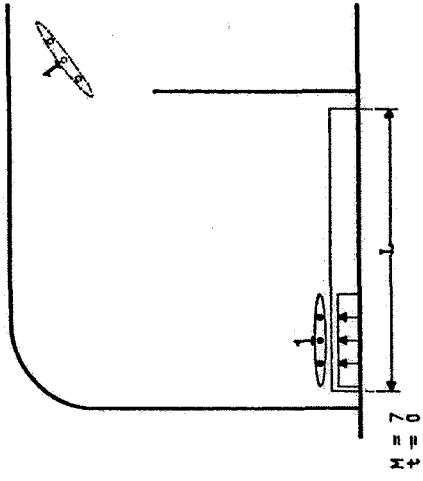
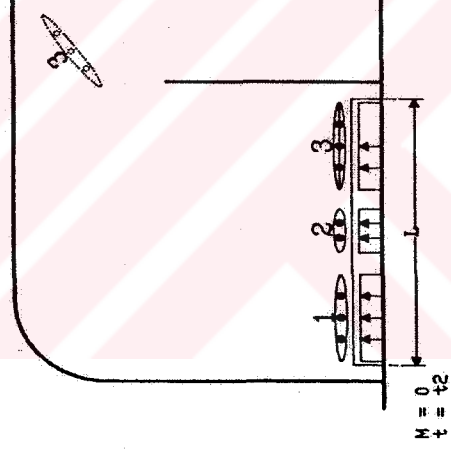
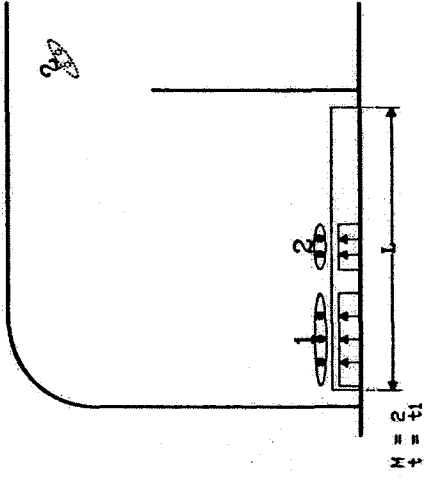
4.4.6 HARSOL Liman Simülasyon Modeli

Sayısal simülasyon programı HARSOL verilen rıhtım uzunluğu boyunca çeşitli yanaşma yeri sayısı ve yükleme boşaltma ekipmanlarının sayısı ile bir limanın genel kargo terminaline benzeşim yapar. Bu liman simülasyon modeli rasgele gemi varışları (varış süresi ve gemi kapasitesi), kuyruk sistemi ve matematiksel biçimlerdeki servis oranının oluşturulmasından meydana gelir.

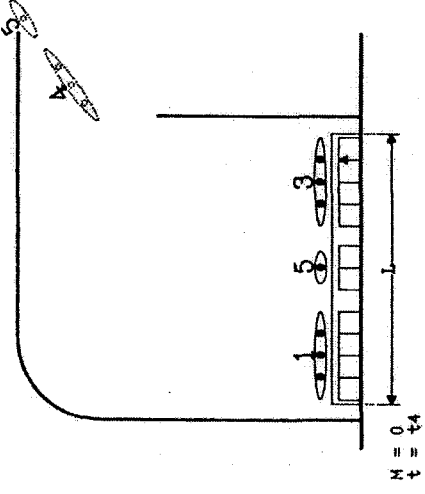
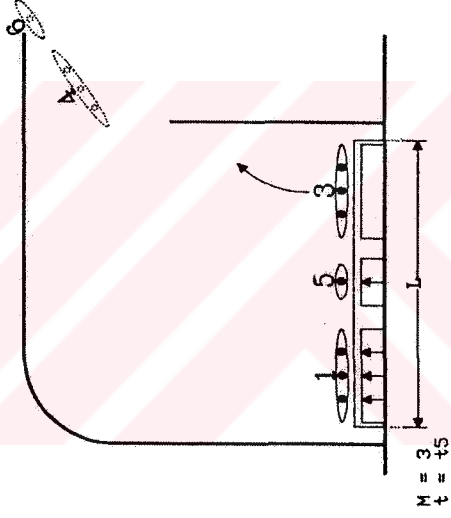
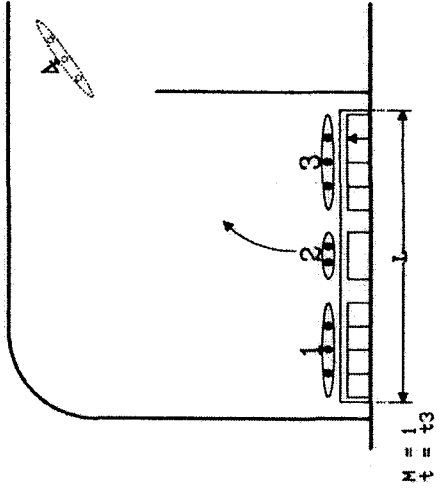
Yapı ve ekipman maliyeti ve geminin bekleme süresinin maliyetini içeren ortalama yıllık toplam liman maliyetini hesaplar. Sonuçlar, terminalin genişletilmesine karar vermede kullanılır.

Optimum liman (terminal) boyutu elde etmek için kullanılmış bir modeldir. Sadece rıhtım ve apron arasındaki elleçleme işlemini dikkate almaktadır.

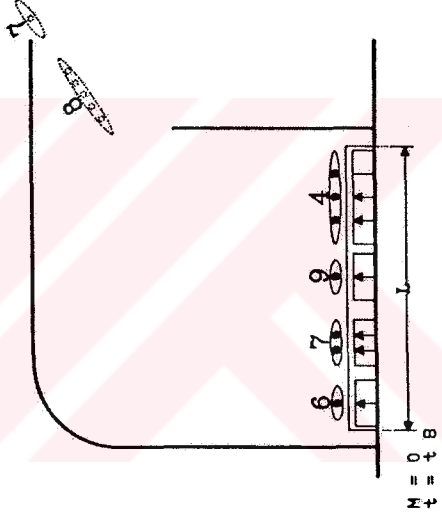
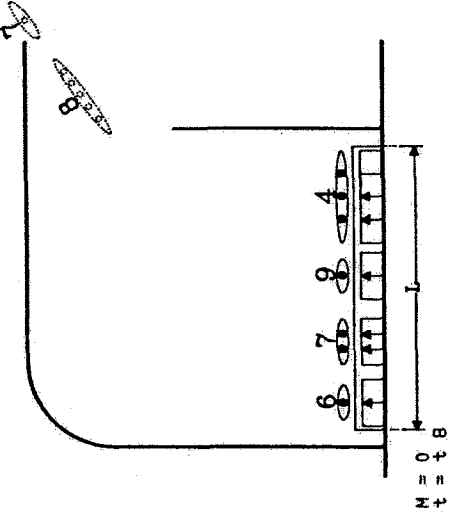
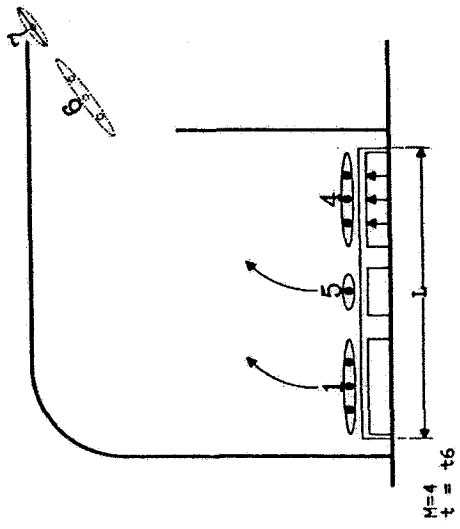
Hipotetik bir liman için çalışmada; en iyi elleçleme ekipmanı/rıhtım uzunluğu ilişkisi elde edilmektedir.



Şekil 4.12 Hayali bir liman için simülasyon çalışma sistemi (Özkan, 1989)



Şekil 4.12 Hayali bir liman için simülasyon çalışma sistemi (devam)



Şekil 4.12 Hayali bir liman için simülasyon çalışma sistemi (devam)

5. HAYDARPAŞA KONTEYNER TERMİNALİNİN KUYRUK ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Haydarpaşa Limanının Genel Özellikleri

Konumu ve tanımı: Haydarpaşa Limanı İstanbul Liman Sınırları içindedir ve Kadıköy'le Haydarpaşa arasında bulunan Seyitahmet deresinin denize döküldüğü noktadan başlamak üzere Salacak'a doğru devam eden sahil üzerindeki Liman tesisleri ile bunları koruyan dalgakıranlar arasında kalan deniz sahasıdır.

Liman mevki : Enlemi 40° 59' 00''

Boylamı 28° 57' 00''

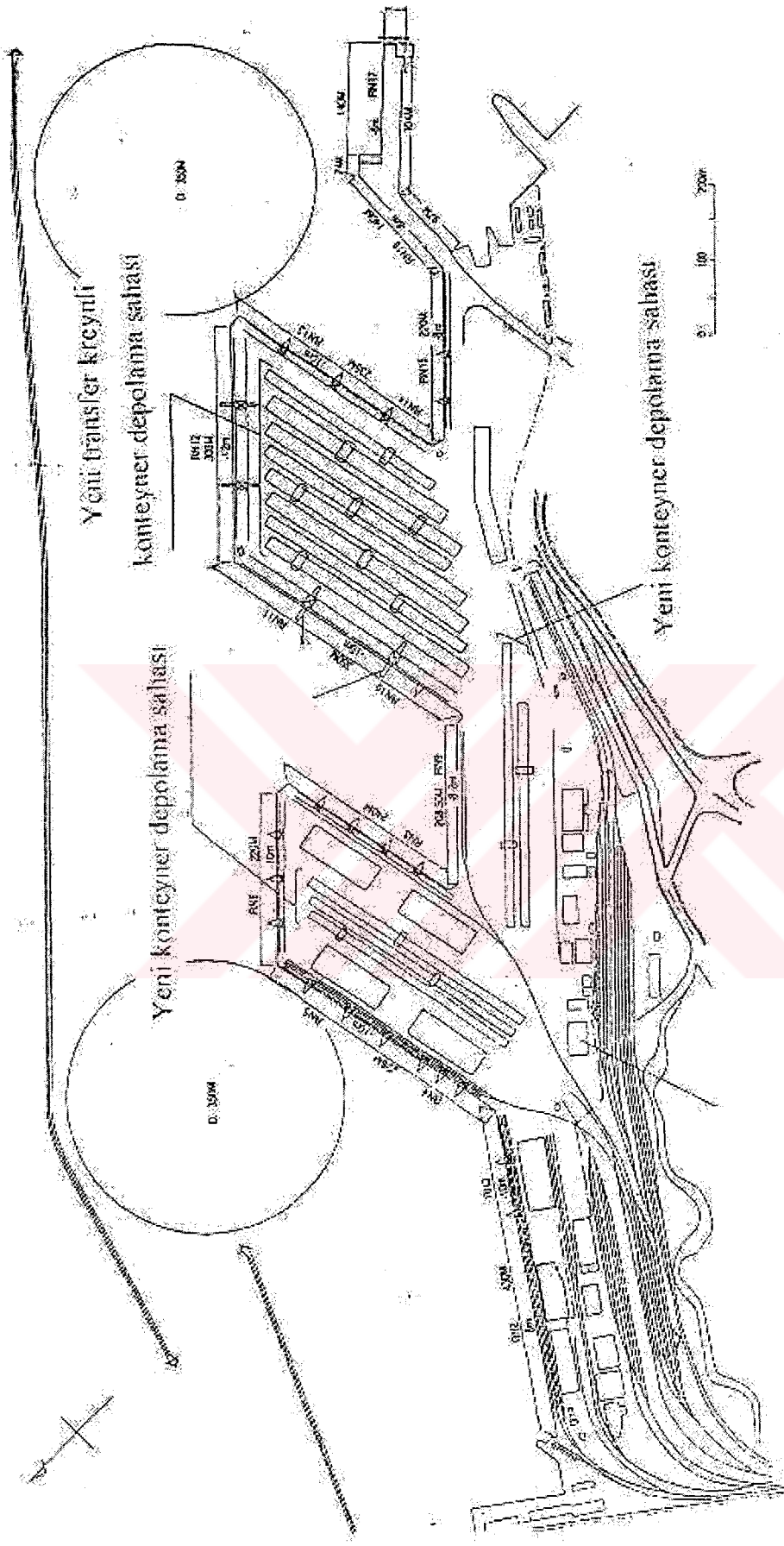
İstanbul'un Anadolu yakasında bulunan Haydarpaşa Limanı, 11 milyona yaklaşan nüfusu ile Türkiye'nin en büyük ticaret, sanayi ve iş merkezi konumundaki İstanbul'un ve çevresinin dış dünya ile ticari ilişkileri ve Marmara Bölgesinin tek konteyner terminaline sahip Limanı olması açısından büyük önem taşımaktadır. Liman Karadeniz'e kıyısı bulunan ülkeler ile yapılan taşımalar için bir kapı oluşturmakta ve Tuna nehri iç su yolu vasıtasıyla Orta ve Kuzey Avrupa ile Ortadoğu ülkeleri arasındaki taşımalar için büyük önem taşımaktadır. Tuna nehri ile Karadeniz'e gelen yüklerin gerek karayolu ile gerekse demiryolu ile Ortadoğu'ya taşınmasında da liman önemli bir konuma sahiptir.

Haydarpaşa limanı doğal karakterli olup ayrıca gemileri her türlü deniz etkilerinden koruyacak şekilde 2 dalgakırana sahiptir.

Limanın Tarihçesi: Haydarpaşa Liman tesisleri 20.04.1899 - 1903 yılları arasında Bağdat demiryolları kumpanyası tarafından 1 ve 2 no'lu rıhtımların inşaatı tamamlanarak işletmeye açılmış ve bu kumpanya tarafından 1924 yılına kadar işletilmiştir.

Haydarpaşa Limanı 22.04.1924 tarih ve 506 sayılı kanunla Hükümet tarafından satın alınarak 31.05.1927 tarihine kadar özel bir rejimle idare edilmiştir.

31.05.1927 tarihinde 1042 sayılı kanun gereğince Nafia vekaletine bağlı Devlet Demiryolları idaresine devredilmiştir.



Şekil 5.1 Haydarpaşa limanı konteyner terminali (JICA, OCIDI, 1996)

Haydarpaşa Limanında tevsiat çalışmalarına 1953 yılında başlanmış, karışık eşya rıhtımlarını ihtiva eden mol ve 1100 m uzunluğunda yeni dalgakıran yapılarak Bakanlar Kurulu'nun 13.3.1957 tarih ve 4/8783 sayılı kararıyla TCDD işletmesine devredilmiştir.

İkinci kısım tevsiata 1979 yılında başlanmış ve konteyner molü, feribot iskelesi, konteyner yük istasyonu binası ve 600 m dalgakıran yapılmıştır. Sonradan yapılan küçük düzenlemeler ve Ro-Ro sahasının açılması ile günümüzdeki halini almıştır.

Römorkaj Hizmetleri: 2000 GRT'ye kadar olan gemiler için gerekli değildir. 2000-5000 GRT arasındaki gemiler 16 ton çekme kuvvetinde 1 römorkör, 5000-15000 GRT arasındaki gemiler 18 ton çekme kuvvetinde 2 römorkör, 15 000-30 000 GRT arasındaki gemiler 27 ton çekme kuvvetinde 2 ya da 18 ton çekme kuvvetinde 3 römorkör 30000 GRTnin üzerindeki gemiler 30 ton çekme kuvvetinde 2 yada 20 ton çekme kuvvetinde 3 römorkör almak zorundadır. Söz konusu hizmet 24 saat Liman İşletmesi tarafından verilmektedir.

Çalışma Saatleri: Limanda gemilere haftanın her günü 24 saat hizmet verilmekte olup işçi gruplarının çalışma saatleri aşağıda belirtilmiştir.

<u>I Sayılı Cetvel</u>	<u>II Sayılı Cetvel</u>	<u>III Sayılı Cetvel</u>	<u>A Cetveli</u>
08.00-16.30	08.00-16.30	08.00-18.00	08.00-16.00
16.30-00.00	16.30-00.00	14.30-00.30	16.00-00.00
00.00-08.00	00.00-08.00	00.00-09.00	00.00-09.00

Dökme yük tesisleri: TMO'ya ait 70 000 ton kapasiteli silonun rıhtımla konveyör bağlantısı mevcuttur. Limanda 3 no'lu rıhtımda 190 m uzunlukta ve -10 m derinlikte kuru dökme yük gemilerine hizmet verebilecek kapasitede bir rıhtıma sahiptir.

Ro Ro rıhtımı: Limanda yeni inşa edilip düzenlenen Ro Ro rıhtımı hizmete verilmiş olup bu rıhtım limana 410 000 ton/yıl Ro-Ro yükü 65.000 adet Tır (gidiş-dönüş) ve 60 000 adet binek otosu kapasitesi ve yılda 360 adet Ro-Ro ve Car Carier tipi gemi kabul kapasitesi kazandırılmıştır. Haydarpaşa-Trieste-Haydarpaşa arasında düzenli Ro-Ro seferleri mevcuttur.

Konteyner Terminali: Konteyner terminali özel gantry creynlerle donatılmış toplam 650 m uzunluğunda rıhtıma sahip olup rıhtım derinliği -10/-12 m' dir. Terminal sahası yaklaşık

100 000 m² civarında olup bir anda tutma kapasitesi 6 000 TEU'dur. Terminalde 3 600 m² kapalı alana sahip bir CFS ve soğutuculu konteynerler için panolar (80 adet)mevcuttur. Ayrıca E-5 yolu Göztepe Mevkiinde 1 adet konteyner kara terminali (50 000m²) mevcuttur.

Karışık Eşya Rıhtımı: Liman toplam 2.038 m uzunlukta -6 ila -10 m derinlikte karışık eşya rıhtımlarına sahiptir.

Konteyner 3 lü vardiyada 550 000 TEU/Yıl konteyner eleçleme kapasitesi.

Haydarpaşa Limanı Depolama Alanları:

762.000 ton/yıl kapasiteli açık depolama alanı mevcuttur. Alan bazında depolama alanları :

Kapalı Depolama Alanları : 24 882.1m²

Açık Depolama Alanları : 175 644.1m²

Konteyner Kara terminali (Göztepe) : 50 000 m²



5.2 Gemi Geliş İstatistikleri ve Dağılımı

Bu bölümde verilecek olan tüm değerler Haydarpaşa limanında 2002 yılında limana gelen her gemi için tutulmuş olan; geminin geliş tarihi, ayrılış tarihi, bekleme süresi, yaptığı yükleme/boşaltma miktarlarını gösteren istatistiklerden derlenmiştir. Haydarpaşa limanına 2002 yılındaki gemi gelişleri Çizelge 5.1’de görüldüğü gibidir.

Çizelge 5.1 Haydarpaşa limanı gemi gelişleri

Aylar	Limana n_a adet gemi geldiği gün sayısı G_a					Gelen gemi sayı.
	$n_a=0$	$n_a=1$	$n_a=2$	$n_a=3$	$n_a=4$	
Ocak	3	10	9	4	5	60
Şubat	2	6	12	4	4	58
Mart	0	10	12	6	3	64
Nisan	2	11	6	9	2	58
Mayıs	3	7	12	8	1	59
Haziran	1	11	7	8	3	61
Temmuz	4	7	7	10	3	63
Ağustos	4	5	14	6	2	59
Eylül	2	5	15	7	1	60
Ekim	2	10	9	6	4	62
Kasım	5	9	5	8	3	55
Aralık	5	13	5	6	3	53
G_a	32	104	113	82	34	$\Sigma=712$

Gemi gelişlerinin Poisson dağılımına uyduğu esas alınarak, tahmin edilen ve gerçek gemi gelişlerinin karşılaştırılması Çizelge 5.2’de yapılmıştır.

Bir günde limana gelen ortalama gemi sayısı:

$$\bar{n}_a = \frac{712}{365} = 1.951 \text{ (Çizelge 5.1'den)}$$

Çizelge 5.2 Gerçek ve teorik (Poisson) gemi geliş dağılımlarının karşılaştırılması

Limanda bulunan gemi sayısı n_a	n_a geminin geldiği gün sayısı t (gün)	Gemi geliş olasılığı		n_a geminin gelmesi için beklenen gün sayısı $P=365 \cdot P(n_a)$	Khi-Kare χ^2
		Gerçek $P(n_a)=t/365$	Beklenen $P(n_a) = \frac{\bar{n}_a^{n_a} e^{-\bar{n}_a}}{n_a!}$		
0	32	0.0877	0.1421	54.87	7.612
1	104	0.2849	0.2772	106.18	0.079
2	113	0.3096	0.2704	98.70	2.142
3	82	0.2247	0.1759	64.20	4.935
4	34	0.0932	0.0858	31.32	0.229
Σ	365	1.00	0.9514	347.27	14.997

Çizelge 5.2'deki $\chi^2=14.997$ değeri (4.79) eşitliğinde her bir n_a değeri için uygulanmasıyla elde edilen değerlerin toplamıdır.

$\alpha = 0.95$ ve $\alpha = 0.05$ için χ^2 değerleri v 'ye bağlı olarak Şekil 4.6'deki çizelgeden elde edilir.

Gemi gelişleri için: n_a değerlerine karşı gelen bağımsız sınıf sayısı; $k=5$

serbestlik derecesi; $v = k-2 = 3$

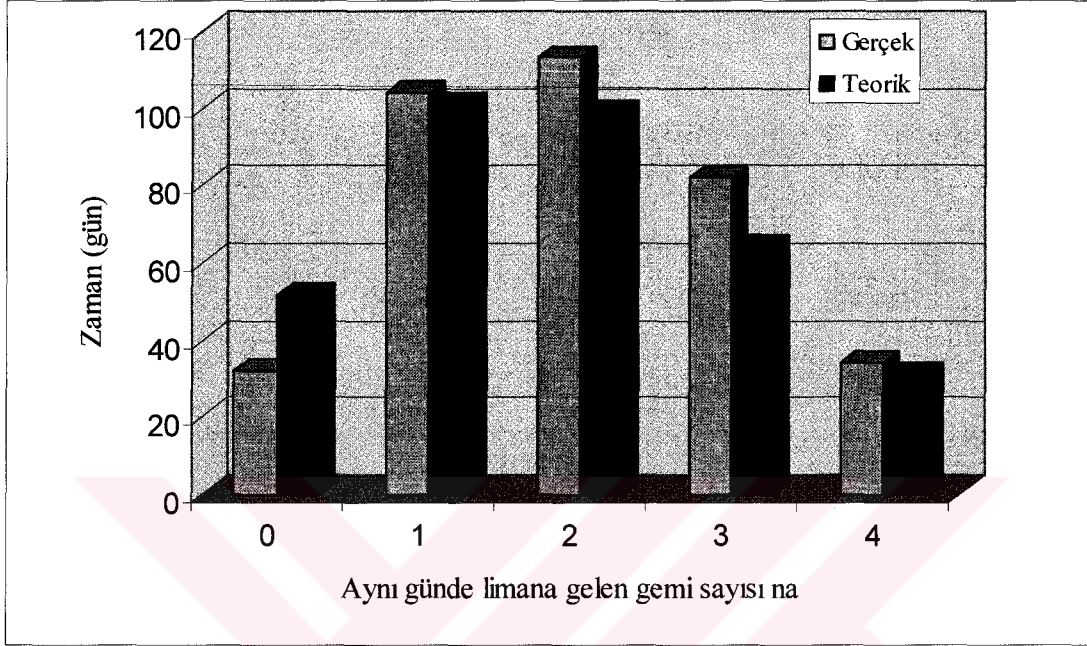
χ^2	$\chi^2_{0.05}$	$\chi^2_{0.95}$
14.997	7.815	0.352

χ^2 'nin $\chi^2_{0.95}$ ile $\chi^2_{0.05}$ arasındaki değerleri, teorik (Poisson) dağılımın kabul edilebileceğini,

$\chi^2 < \chi^2_{0.05}$ şüpheli olabileceğini, $\chi^2 > \chi^2_{0.95}$ ise çok iyi bir uygunluk olduğunu gösterir

(Nicolau, 1967).

$\chi^2 > \chi^2_{0.05}$ olduğundan Haydarpaşa limanındaki gemi gelişlerinin gerçek dağılımının tahmin edilen Poisson dağılımıyla uygunluk göstermediği görülür. Gerçek ve teorik gemi gelişleri Şekil 5.2’de çizilmiştir.



Şekil 5.2 Haydarpaşa limanındaki gerçek ve teorik (Poisson) gemi geliş dağılımları

5.3 Gemi Liman Süreleri

Haydarpaşa limanında 2002 yılı için gemi liman sürelerinin aylara göre dağılımları Çizelge 5.3'de görüldüğü gibidir.

Çizelge 5.3 Haydarpaşa limanı gemi liman süreleri

Aylar	Limana n adet gemi bulunduğu gün sayısı G					Toplam gemi günü
	n=0	n=1	n=2	n=3	n=4	
Ocak	0	2	11	7	11	89
Şubat	1	2	11	7	7	73
Mart	0	4	9	11	7	83
Nisan	1	3	9	11	6	78
Mayıs	1	1	11	17	1	78
Haziran	0	3	7	16	4	81
Temmuz	3	5	4	13	6	76
Ağustos	2	2	9	10	8	82
Eylül	1	3	10	12	4	75
Ekim	2	5	7	11	6	76
Kasım	1	6	8	8	7	74
Aralık	0	10	7	7	7	73
Σ	12	46	103	130	74	938

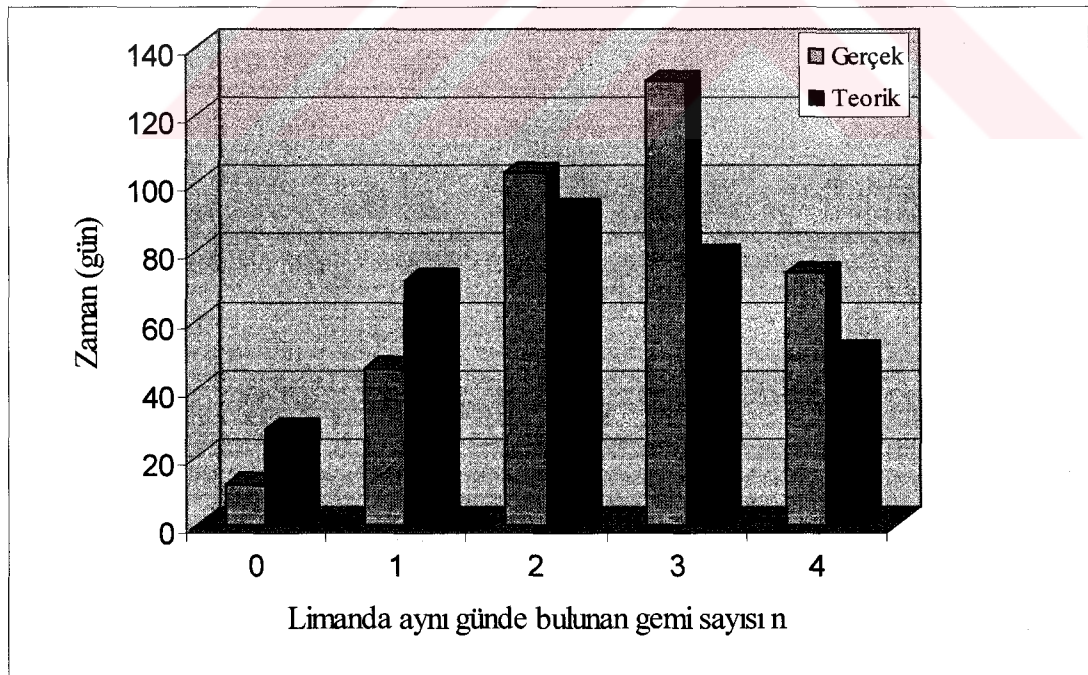
Gemi liman süresi dağılımının da Poisson dağılımına uyduğu varsayımıyla, tahmin edilen ve gerçek liman sürelerinin karşılaştırılması, Çizelge 5.4'te görülmektedir.

$$\text{Aynı günde limanda bulunan ortalama gemi sayısı: } \bar{n} = \frac{938}{365} = 2.5699$$

Çizelgede 5.4'te χ^2 dağılımı için $k=5$ ve $\nu=3$ 'tür. Bu değer için $\chi^2 = 63.10 > \chi^2_{0.05}$ ' dir. Yani gemi liman süresi dağılımının teorik (Poisson) dağılımıyla pek iyi bir uygunluk göstermediği görülür. Gerçek ve teorik liman süreleri Şekil 5.3'de çizilmiştir.

Çizelge 5.4 Gerçek ve teorik (Poisson) gemi liman süresi dağılımlarının karşılaştırılması

Limanda Bulunan Gemi Sayısı n	n Geminin Limanda Bulunduğu Gün Sayısı t (gün)	n gemi bulunması olasılığı		n Geminin Bulunması Beklenen Gün Sayısı P=365*P(n)	Khi-Kare χ^2
		Gerçek P(n)=t/370	Beklenen $P(n) = \frac{\bar{n}^n e^{-\bar{n}}}{n!}$		
0	12	0.032877	0.07655	27.94	9.09
1	46	0.126027	0.19672	71.80	9.27
2	103	0.282192	0.25278	92.27	1.25
3	130	0.356164	0.21653	79.03	32.87
4	74	0.202740	0.13911	50.78	10.62
Σ	365	1	0.8817	321.82	63.10



Şekil 5.3 Haydarpaşa limanındaki gerçek ve teorik (Poisson) gemi liman süresi dağılımları

5.4 Gemi Servis Süreleri İstatistiği ve Dağılımı

Yanaşma yeri kullanımı, rıhtım işgali veya hizmet süresi gibi terimlerle de ifade edilen servis süresinin dağılımı, Erlang sayısı olan K'nın bir değeri için Erlang dağılımına uyar.

Bölüm 4'te verilen (4.11), (4.12), (4.13) eşitlikleri kullanılarak, Haydarpaşa limanı teorik servis süresi dağılımı için aşağıda uygulanmıştır. Gerçek servis değerleri Çizelge 5.5'ten alınmıştır. Bir gemi için ortalama servis süresi $T_b = 12248/712 = 17.20$ saat/gemi

Ortalama servis oranı

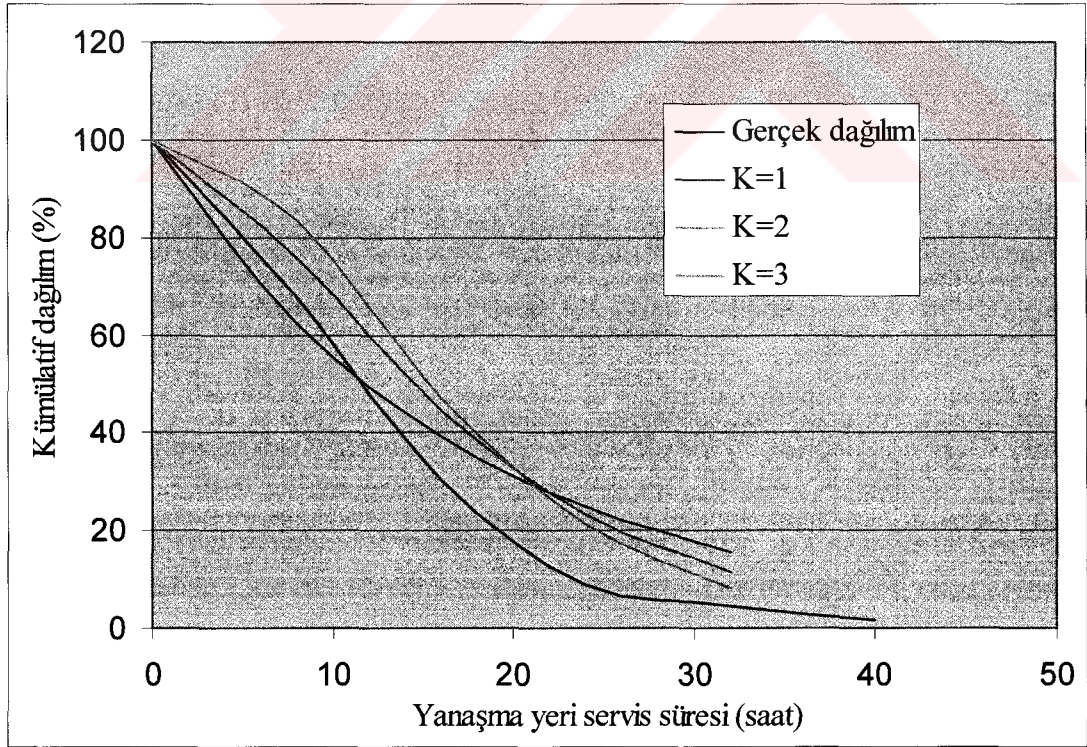
$$b = \frac{1}{T_b} = 0.0581 \text{ gemi/saat}$$

Çizelge 5.5 Haydarpaşa limanı gemi servis (yanaşma yeri kullanım) süreleri

Aylar	Yanaşma yerinde t_b =saat servislenen gemi sayısı: n_b						Yan. yeri süresi $\Sigma t_b * n_b$
	$t_b=8$	$t_b=16$	$t_b=24$	$t_b=32$	$t_b=40$	$t_b=48$	
Ocak	23	22	15	3	3	2	1112
Şubat	19	27	11	2	2	0	992
Mart	15	25	10	4	1	1	976
Nisan	22	25	13	1	2	0	1000
Mayıs	16	18	9	4	0	3	904
Haziran	19	22	16	4	1	1	1104
Temmuz	14	18	17	3	1	0	944
Ağustos	16	23	14	2	5	2	1192
Eylül	20	27	8	5	0	1	992
Ekim	24	20	14	2	2	0	992
Kasım	20	23	12	4	2	1	1072
Aralık	19	17	16	1	2	1	968
n_b	227	267	153	32	21	12	$\Sigma 12248$

Çizelge 5.6 Gerçek ve teorik (Erlang) yanaşma yeri servis süresi dağılımlarının karşılaştırılması

Yanaşma yeri servis süresi t_b	t_b süreli gemi sayısı n_b	Gerçek kümülatif servis süresi dağılımı (%)	Toplam servis süresi $\Sigma t_b * n_b$	ERLANG		
				Tahmin edilen kümülatif servis süresi dağılımı (%)		
				K=1	K=2	K=3
0-8	227	100	1816	100	100	100
8.01-16	267	68.03	4272	62.83	76.18	83.60
16.01-24	153	30.42	3672	39.47	44.56	47.21
24.01-32	32	9.15	1024	24.80	23.31	21.30
32.01-40	21	4.65	840	15.58	11.46	8.35
>40.01	12	1.69	624	9.79	5.41	3.03
Σ	712		$T_b=12248$	$\chi^2=26.75$	$\chi^2=20.57$	$\chi^2=17.44$



Şekil 5.4 Haydarpaşa limanındaki gerçek ve teorik servis sürelerinin kümülatif dağılımları

Çizelge 5.7 Servis süresi dağılımı için χ^2 testi sonuçları

Erlang sayısı	k	v	χ^2	$\chi^2_{0.95}$	$\chi^2_{0.05}$
K=1	6	4	26.75	0.711	9.488
K=2	6	4	20.57	0.711	9.488
K=2	5	3	17.44	0.352	7.815

Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi K=1, K=2, K=3 değerleri için $\chi^2 > \chi^2_{0.05}$ olduğundan teorik dağılım gerçeğe uygun değildir. Haydarpaşa Limanı konteyner terminali için servis süresi dağılımı Erlang dağılımıyla uygunluk göstermemektedir.

5.5 Yanaşma Yeri Yükleme Boşaltma Değerlendirmeleri

2002 yılı için Haydarpaşa Limanı konteyner terminalinde yük hareketi yükleme ve boşaltma olmak üzere aylara göre dağılımı Çizelge 5.8'de verilmiştir. 2002 yılında toplam elleçlenen konteyner sayısı 157 008 adettir. Bunun 75 673'ü yüklenen 81 335'i ise boşaltılan konteynerlerdir.

Çizelge 5.8 Haydarpaşa limanı yanaşma yeri gemi yük hareketleri

Aylar	Yükleme		Boşaltma		Yükleme+Boşaltma		Ortalama günlük Yük.+Boş.	
	Adet	TEU	Adet	TEU	Adet	TEU	Adet	TEU
Ocak	6 450	9 870	5 935	9 046	12 385	18 916	399	610
Şubat	10 536	16 320	10 998	16 822	21 534	33 142	769	1 183
Mart	5 952	8 262	6 237	9 257	12 189	17 519	393	565
Nisan	5 894	9 013	6 490	9 616	12 384	18 629	413	621
Mayıs	6 977	10 508	7 632	11 135	14 609	21 643	471	698
Haziran	8 050	12 158	7 302	4 442	15 352	16 600	512	553
Temmuz	6 450	9 643	6 197	8 989	12 647	18 632	601	408
Ağustos	3 048	4 586	6 610	9 739	9 658	14 325	312	462
Eylül	6 005	9 055	5 552	8 056	11 557	17 111	385	570
Ekim	5 626	8 636	6 207	9 164	11 833	17 800	381	574
Kasım	5 557	8 483	5 999	9 008	11 556	17 491	385	583
Aralık	5 128	7 873	6 176	9 090	11 304	16 963	364	547
Σ	75 673	114 407	81 335	114 364	157 008	228 771		

5.6 Bayraklarına Göre Sınıflandırılan Gemilerin Elleçleme Miktarları ve Servis Süreleri

Çizelge 5.9'dan görüldüğü gibi 2002 yılında Haydarpaşa Limanı konteyner terminalinde elleçlemenin yaklaşık % 12'si Türk bayraklı gemilere ait % 88'i ise yabancı bayraklı gemilerde yapıldığı görülmektedir. Çizelge 5.9'dan görüldüğü gibi 2002 yılı için toplam yük miktarı $Q = 2\,331\,056$ ton'dur.

Çizelge 5.9 Bayraklarına göre sınıflandırılan gemilerin sayıları ve elleçleme miktarları

Aylar	Türk Bayraklı			Yabancı Bayraklı		
	Gemi sayısı	Elleçledikleri miktar (ton)	(%)	Gemi sayısı	Elleçledikleri miktar (ton)	(%)
Ocak	9	18 188	10.36	61	157 05	89.63
Şubat	6	13 155	7.71	55	157 396	92.29
Mart	6	17 065	9.01	59	172 177	90.99
Nisan	9	24 635	12.66	54	169 938	87.34
Mayıs	8	17 792	7.56	62	217 437	92.44
Haziran	8	20 653	9.6	65	193 812	90.40
Temmuz	8	21 455	10.89	55	175 389	89.11
Ağustos	8	33 025	16.00	54	173 352	84.00
Eylül	9	32 248	16.96	52	157 846	83.04
Ekim	9	33 340	17.62	54	155 859	82.38
Kasım	8	13 132	7.10	54	171 994	92.90
Aralık	11	33 190	18.04	48	150 773	81.96
Σ	99	277 878	11.92	673	2 053 178	88.08

Çizelge 5.10 Bayraklarına göre sınıflandırılan gemilerin servis süreleri

Aylar	Servis süreleri (saat)		
	Türk Bayraklı	Yabancı Bayraklı	Toplam
Ocak	160	1 088	1248
Şubat	112	880	992
Mart	96	832	928
Nisan	144	856	1 000
Mayıs	104	1 040	1 144
Haziran	144	1 040	1 184
Temmuz	120	984	1 104
Ağustos	200	992	1 192
Eylül	216	776	992
Ekim	176	816	992
Kasım	168	904	1 072
Aralık	232	736	968
Σ	1 872	10 944	12 816

5.7 Haydarpaşa Konteyner Terminali Bekleme Kuyruğu ve Gemi Trafığı Özellikleri

5.7.1 Haydarpaşa Limanının Bazı Özellikleri

$T = 365$ gün = 8760 saat (günde 24 saat çalışılıyor)

$N = 712$ gemi (2002 yılında limana gelen toplam gemi sayısı)

$$t_a = \frac{T}{N} = 0.513 \text{ gün/gemi} = 12.31 \text{ saat/gemi (ortalama gemi geliş aralığı)}$$

$$a = \frac{1}{t_a} = 1.949 \text{ gemi/gün} = 0.0810 \text{ gemi/saat (ortalama varış oranı)}$$

$t_b = 510$ gün = 12248 saat

$$T_b = \frac{t_b}{N} = 0.716 \text{ gün} = 17.20 \text{ saat (bir gemi için ortalama servis süresi)}$$

$$b = \frac{1}{T_b} = 1.397 \text{ gemi/gün} = 0.058 \text{ gemi/saat (ortalama servis hızı)}$$

$M = 4$ (yanaşma yeri sayısı)

$$\psi = \frac{a}{b} = \frac{t_b}{T} = 1.397 \text{ (trafik yoğunluğu)}$$

$$\theta = \frac{\psi}{M} = 0.349 \text{ (yanaşma yeri kullanım oranı)}$$

5.7.2 Bekleme Kuyruğu Özellikleri

a) Kuyrukta ortalama bekleme süresi, T_w ;

Bölüm 5.7.1'de bulunan θ ve M değerleriyle Şekil 4.5'ten $T_w/T_b = 0.0225$ bulunur.

$$T_w = 0.0225 * 17.20 = 0.387 \text{ saat}$$

Bu sonuca göre, Haydarpaşa limanına gelen gemilerin yanaşmadan önce ortalama 0.387 saat beklediği yani bekleme yapmadığı görülmektedir.

b) Kuyruğa giren gemilerin ortalama bekleme süresi, t_d ve ortalama kuyruk uzunluğu, L ;

(4.77) eşitliğinde değerlerin yerine konmasıyla $t_d = 6.67$ saat olarak hesaplanır. Bunun anlamı, Haydarpaşa limanında mevcut bir kuyruğun arkasına gelen geminin servis

verilmeden önce 6.67 saat beklemesidir. Ortalama kuyruk uzunluğu, (4.76) eşitliğinden $L = 1.536 \cong 2$ gemi bulunur.

c) t saati aşan bekleme ihtimalleri $P_w(>t)$;

$\theta = 0.349$, $M = 4$ ve $P(>0) = 0.006$ değeri Şekil 4.3'den bulunur.

Örnek olarak, 24 saatten fazla bekleme ihtimali şöyle hesaplanır;

$M*t/T_b = 5.58$ Şekil 3.3'den $P_w(5.58) = 0.085$ elde edilir.

$$P_w(>24 \text{ saat}) = P_w(>0) * [P_w(5.32)] \\ = 0.006 * 0.085 = 0.00051$$

Bunun anlamı, gemilerin 24 saatten fazla bekleme ihtimalinin % 0.051 olduğudur, dolayısıyla bu sonuç beklemenin olmadığını gösterir.

d) Herhangi bir sürede n geminin limanda bulunma olasılığı $P(n)$;

2002 yılında aylık gemi trafiğinin en yoğun olduğu Ocak ayı için limanda bulunan ortalama gemi sayısı;

$$\bar{n} = \frac{89}{31} \cong 3 \text{ gemi}$$

2002 yılında 5 gemi bulunma ihtimali;

$\bar{n} = 5$, $M = 4$ yani $n > M$ olduğu için (4.75) eşitliğinden $P(5) = 0.00139$ yani yanaşma yerinde 5 gemi bulunması ihtimali küçük bir ihtimaldir.

5.8 Yanaşma Yeri Sayısının Belirlenmesi

Bu bölümde Haydarpaşa limanında kuyrukta çeşitli ortalama bekleme sürelerini sağlayan yanaşma yeri sayıları belirlenecektir. Önce $T_w = 10$ için örnek bir çözüm yapılacaktır.

$$T_w = 10 \text{ saat}, T_b = 17.20 \text{ saat}$$

$T_w/T_b = 0.581$ olarak sabit bir değer elde edilir. Şekil 4.5'ten bu sabit değere karşı, değişik M değerlerine karşılık gelen θ değerleri elde edilir. Bu değerler Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.11 Haydarpaşa limanında $T_w/T_b = 0.581$ için M ve θ 'nın değişimi

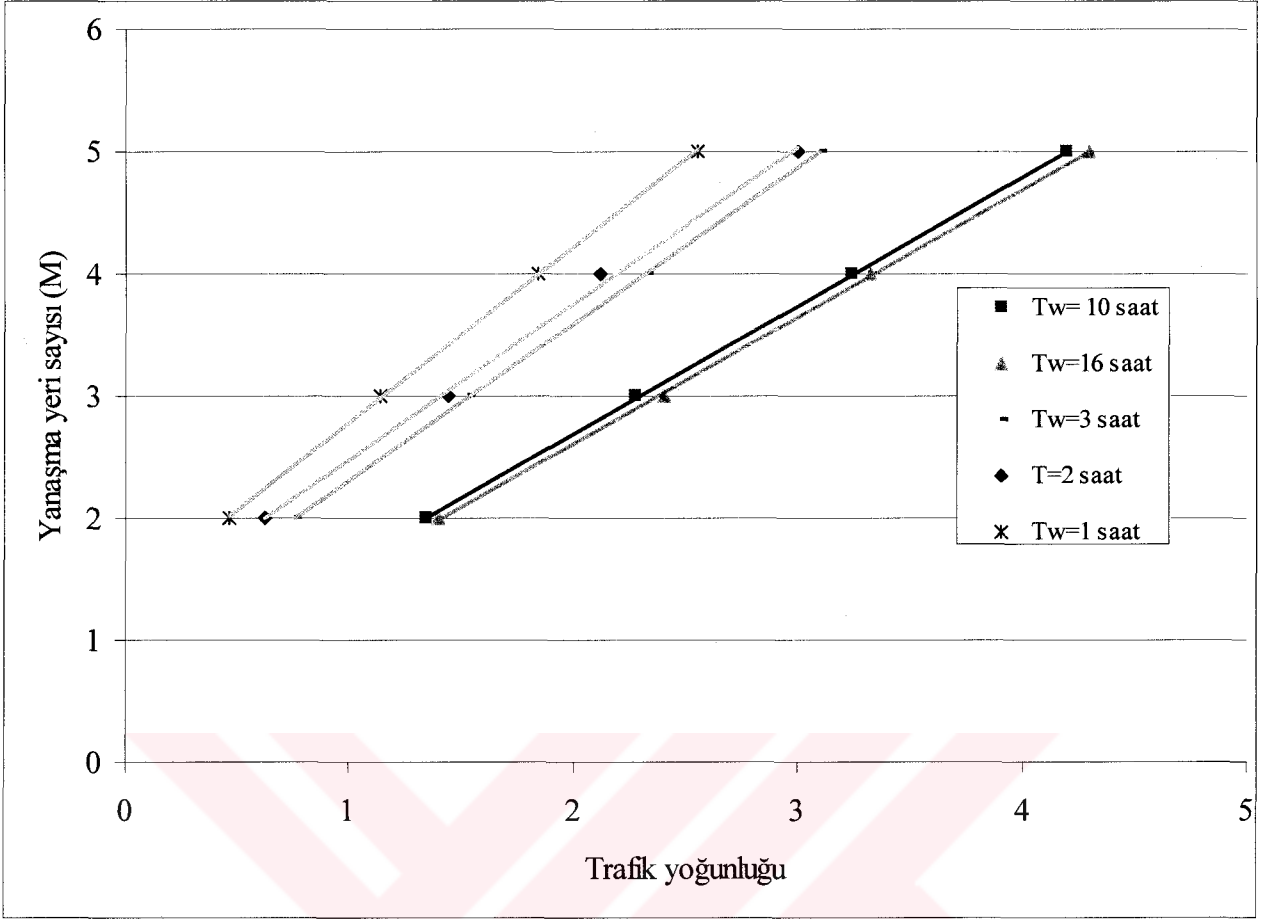
Yanaşma yeri Sayısı M	Yanaşma yeri kullanım oranı θ	Trafik yoğunluğu $\Psi=M*\theta$
2	0.619	1.22
3	0.709	2.13
4	0.760	3.04
5	0.810	4.05
6	0.825	4.95

Haydarpaşa limanı için trafik yoğunluğu $\Psi = 1.397$ olarak belirlenmişti. Bu değer Çizelge 5.11'den $M = 3$ yanaşma yeri ile sağlanabilmektedir. Yani limandaki ortalama bekleme sürelerinin 10 saati geçmemesi için 3 yanaşma yeri gerekmektedir.

Benzer şekilde 1, 2, 3, 10,16 saatlik ortalama bekleme süreleri için de Şekil 3.4'ten M ve θ 'nın değişimi incelenmiş ve sonuçları aşağıdaki Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5.12 Haydarpaşa limanında çeşitli T_w/T_b değerleri için M ve θ 'nın değişimi

T_w (saat)	T_w/T_b	M	θ	$\Psi=M*\theta$
1	0.058	2	0.23	0.46
		3	0.38	1.14
		4	0.46	1.84
2	0.116	2	0.31	0.62
		3	0.48	1.44
		4	0.53	2.12
3	0.174	2	0.38	0.76
		3	0.51	1.53
		4	0.58	2.32
10	0.581	2	0.67	1.34
		3	0.76	2.28
		4	0.81	3.24
16	0.930	2	0.70	1.40
		3	0.80	2.40
		4	0.83	3.32

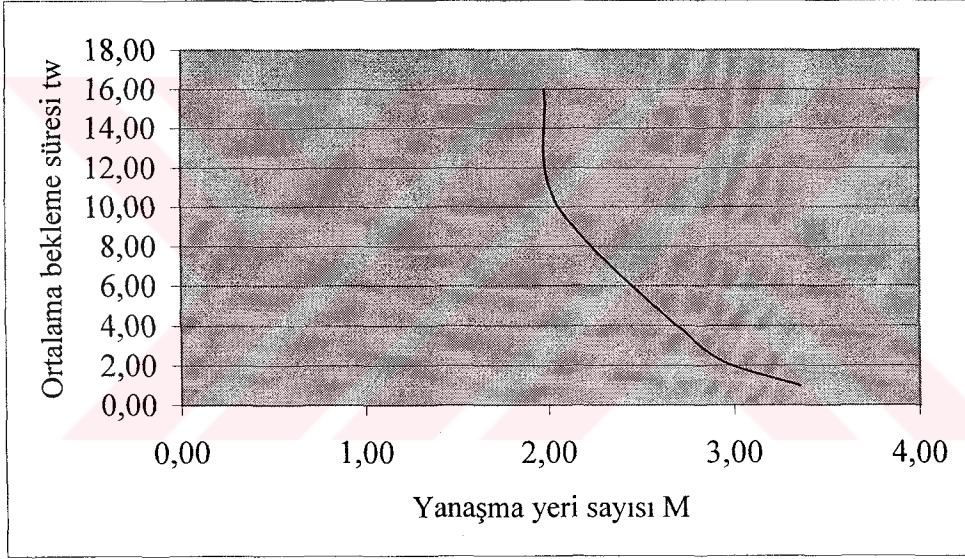


Şekil 5.5 Haydarpaşa limanındaki çeşitli T_w değerleri için elde edilen ψ -M eğrileri

Haydarpaşa limanı trafik yoğunluğu $\psi = 1.397$ değerini sağlayan en uygun yanaşma yeri sayıları her T_w (Ortalama bekleme süresi) için Şekil 5.5'ten okunmuş, Çizelge 5.13 ve Şekil 5.6'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.13 Haydarpaşa limanındaki çeşitli bekleme süreleri için gereken en uygun yanaşma yeri sayıları

Ortalama Bekleme Süresi T_w (saat)	T_w 'yi sağlayan Yanaşma Yeri Sayısı
1	3.35 → 4
2	2.99 → 3
3	2.82 → 3
10	2.06 → 3
16	2.00 → 2



Şekil 5.6 Haydarpaşa limanı T_w -M grafiği

6.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Dünyada iletişim, bilgi aktarımı, elektronik gibi ileri teknolojilerin 21. yüzyılda hızla gelişimi üretimden servise kadar her alanda küreselleşmeye neden olmaktadır. Böylece limanlarda uluslar arası kargo hacmi sürekli artış göstermektedir. Bu nedenle limanların yapım ve yönetimleri son derece önem kazanmıştır. Çünkü devletlerin ekonomileri üzerinde doğrudan etkilidir. Ancak liman yatırımları ve bu limanları kullanan gemi fiyatları çok yüksektir. O halde limanlar gerek alt yapı gerekse işletme açısından son derece önemlidir. Sonuç olarak en iyi şekilde planlanmalı ve maksimum verimlilikle işletilmelidir.

Liman yatırımları ve işletmesi limanlardan maksimum verimin elde edilebilmesi için birbirleriyle iç içe olan iki önemli unsurdur. Gemilerin uzun kuyruklar yaratmaksızın liman faaliyetlerini maksimum kullanması gerekmektedir. O halde en ideal çözüm bir limanda tüm yanaşma yerleri her zaman dolu olmalı ve hiçbir zaman bekleyen bir gemi olmamalıdır. Ancak gerçekte bu çözüm mümkün değildir. Optimum çözüm tüm maliyet parametrelerinin dikkate alınması ile minimum maliyeti veren liman büyüklüğüdür.

Limanlar trafik ve operasyon açısından son derece karmaşıklardır. Terminaller sadece yükleme/boşaltma açısından incelendiklerinde bile bunları etkileyen gemi varışları, gemi büyüklükleri, servis kapasitesi gibi birçok parametre etkili olmaktadır.

Bu çalışmada önce optimum liman planlanması ve yönetimi için kullanılan modeller tartışılmıştır. Bu modeller liman simülasyon modelleri ve kuyruk analizidir. Daha sonra Haydarpaşa Limanına ait 2002 yılı trafik verileri kullanılarak kuyruk analizi yönteminin uygulanması ile en uygun yanaşma yeri sayısı belirlenmiştir.

Çalışmada dikkate alınan liman simülasyon modelleri UNCTAD, PORTSIM, MIT ve HARSOL'dur.

UNCTAD liman simülasyon modeli bir liman işletimini değerlendirmek, limanı etkileyen problemleri belirlemek ve liman genişleme etkilerini incelemek için tasarlanan bir simülasyon modelidir.

PORTSIM, yönetim amacıyla değil proje değerlendirme amacıyla tasarlanmıştır. Dünya Bankası tarafından geliştirilen bu liman simülasyon modeli herhangi bir liman şeklinin işletmesini minimum kullanıcı ile temsil edebilmektedir. Kullanıcının, liman şeklinin değişmesi, kar/maliyet değerlendirmesi ve mevcut limanların ince detayları ile ilgilenmediği kabul edilmektedir.

MIT liman işletme kontrolü ve yönetimi amacıyla geliştirilmiş bir modeldir.

HARSOL liman yatırım maliyeti ile gemi bekleme maliyeti arasındaki ilişkiyi kullanarak liman büyüklüğünü optimize eden yönetim değil yatırım projesi değerlendirme amaçlı bir simülasyon modelidir.

Kuyruk analizi yöntemi kullanılarak Haydarpaşa Limanı konteyner terminali için yapılan analizde tek bir kuyruk olduğu ve ilk gelene ilk servis verildiği kabulleri yapılmıştır.

Çalışmada gemi gelişlerinin ve liman sürelerinin gerçek ve teorik (Poisson) dağılım ile uygunluğu araştırılmıştır. Gemi gelişleri ve liman sürelerinin her ikisinin de teorik (Poisson) dağılıma uygunluk göstermediği görülmüştür. Aynı değerlendirme servis süreleri için yapılmıştır. Servis süresi dağılımı Erlang dağılımının $K=1, 2, 3$ değerleri için hesaplanmıştır. Bu dağılımların uygunluğu Khi-Kare dağılımının %90 güven aralığı için kontrol edilmiş ve bu güven aralığında gerçek ve teorik dağılımların uyumlu olmadıkları görülmüştür.

Haydarpaşa Limanı konteyner terminalinde gemi varışları, liman süreleri ve servis sürelerinin gerçek dağılımlarının literatürde kabul görmüş teorik dağılımlarla uyum sağlamamasının en önemli nedeni konteyner gemilerinin daha düzenli seferler yapıyor olmaları ve bu seferlerde kullanılan gemilerin aynı olmaları yani gemi büyüklüklerinin dolayısıyla taşınan kargonun yaklaşık olarak aynı olmasıdır.

Haydarpaşa Limanı konteyner terminalinin mevcut yanaşma yeri sayısı $M= 4$ 'dür. Bu şartlarda terminallerin yanaşma yeri kullanım oranı $\theta= 0.349$ ve trafik yoğunluğu $\psi = 1.397$ olarak elde edilmiştir. Çalışmada mevcut durumdaki yanaşma yeri sayısının yeterli olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bunun için limanda 1 saatten- 16 saate kadar çeşitli ortalama bekleme süreleri için yanaşma yeri sayıları belirlenmiştir. Bu çalışmaya göre 1 saatten az bekleme için 4 yanaşma yeri, 2 saatten az bekleme için 3 yanaşma yeri, 10 saatten az bekleme olması için 3 yanaşma yeri, 16 saatten az bekleme olması için 2 yanaşma yeri yeterli olmaktadır.

Haydarpaşa Limanı konteyner terminaline ait 2002 yılı verileri kullanılarak yapılan çalışmada yıllık toplam elleçlenen yük miktarı $Q = 2\ 331\ 056$ ton veya 228 771 TEU olup bunun % 12'si Türk bayraklı gemilerde ve % 88'i yabancı bayraklı gemilerde yapılmaktadır.

Çizelge 6.1 Haydarpaşa limanı özellikleri

T (günde 24 saat çalışılıyor)	365 gün = 8760 saat
N (2002 yılında limana gelen toplam gemi)	712 gemi
t_a (2002 yılı ortalama gemi geliş aralığı)	0.513 gün/gemi = 12.31 saat/gemi
a (2002 yılında gelen ortalama gemi sayısı)	1.949 gemi/gün = 0.0810 gemi/saat
t_b (servis süresi)	510 gün = 12248 saat
T_b (ortalama servis süresi)	0.716 gün = 17.20 saat
b (ortalama servis hızı)	1.397 gemi/gün=0.058 gemi/saat
M (mevcut yanaşma yeri sayısı)	4
Ψ (trafik yoğunluğu)	1.397
Θ (yanaşma yeri kullanım oranı)	0.349
Q (2002 yılında elleçlediği yük miktarı)	2 331 056 ton

KAYNAKLAR

- Bayraktar, E., (1985), Limanlarda Tıkanıklık Analizi ve En Uygun Yanaşma Yeri Sayısının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Brockmayer, E. And Halström, H. L., (1960), "The Life and Works of A.K. Erlang", Acta Politechnica Scandinavica.
- Cantekin, E., (1984), Analysis of Port Congestion and Design Criteria for the Optimum Port Planning, M.Sc. Thesis, Coastal and Harbor Eng. Lab. METU.
- Ergin, A., Şendil, U., and Altan R., (1977), "Estimation of the Optimum Number of Berth for İzmir Port", Coastal and Harbor Eng. Lab. METU.
- Ergin, A. and Yalçın, A.C., (1992), "Optimizing Seaports Through Computer Simulation", Second seminar on Ports and Inland Waterways, Permanent Committee for developing Countries, Indonesia.
- Fratat, T., Goodman A.S., and Brant, A.E., (1961), "Prediction of Maximum Practical Berth Occupancy", Transaction of ASCE.
- Gündüz, A., (1996), Mühendislikte Olasılık İstatistik Risk ve Güvenilirlik, İstanbul
- Güler, I., (1996), A Computer Simulation Model For Seaport Planning, Ph.D.Thesis, Coastal and Harbor Eng. Lab. METU.
- Hansen, B.J. (1976), "Harbor Simulation Programs", Coastal and Harbor Engineering Laboratory Report, METU.
- Jones, J.H., and Blunden, W.R., (1968), "Ship Turn-Around Time", Journal of Waterways and Harbors Division Proceedings of the ASCE.
- Karaaslan, S., (1983), Computer Simulation Model for an Optimum Seaport Size, M.Sc. Thesis, Coastal and Harbor Eng. Lab. METU.
- Kozan, E., (1977), Determination of an Optimal Expansion Programme for the İstanbul Seaport System, M.Sc. Thesis, Coastal and Harbor Eng. Lab. METU.
- Mettam, J., (1967), "Forecasting Delays to Ships in Port", The Dock and Harbors Authority, PP 380- 382.
- Miller, A.J., (1971), "Queueing at Single-Berth Shipping Terminal", Journal of Waterways, Harbors and Coastal Eng. Division ASCE.
- Morse, P. M., (1958), "Queues, Inventories, and Maintenance", Wiley, New York.
- Nicolau, S. N., (1967), "Berth Planning by Evaluation of Congestion and Cost", Journal of the Waterways and Harbors Division, ASCE.
- Noritake, M., and Kimure, S., (1983), "Optimum Number and Capacity of Seaport Berths", Journal of the Waterways, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE.

Oymak, D., (1971), *Economical Design Criteria on the Optimum Harbor Planning*, M.Sc., Coastal and Harbor Eng. Lab. METU.

Özkan, E., (1989), *Application of Computer Simulation Model in the Estimation of the Optimum Seaport Size*, M.Sc. Thesis, Coastal and Harbor Eng. Lab. METU.

Page, E., (1972), *Queueing Theory in OR*, London Butterworths.

Plumlee, C. H., (1966), "Optimum Size Seaport", ASCE Proceedings, Vol. 92.

Rallis, T., (1967), "Capacity of Transport Centers, Ports, Railway Stations, Road, Haulage Centers and Airports", The Technical University of Denmark, Department for Road Construction, Transportation Engineering and Town Planning, Report 35, Copenhagen.

Rallis, T., (1968), "Traffic Handling Delays in Ports", 5th International Harbor Congress, Antwerp, Belgium.

UNCTAD, (1969), "Development of Ports", Report no. TD/B/C4/421/Rev. 1, published by the United Nations.

Voigt, D., (1967), discussion on "Optimum Size Seaport", ASCE Proceedings.

Wilkinson, R. I., "Working Curves for Delaysé", Bell System Technical Journal, Vol. 32, March 1953.

World Bank Group, (1974), "Port Simulation Model Release (1) Users Manuel", The International Bank of Reconstruction and Development, Washington D.C.

Yalçındağ, H., (1994), *Cost Analysis for a Seaport*, M.Sc. Thesis, Coastal and Harbor Eng. Lab. METU.

Yüksel Y., Çevik E., Çelikoğlu Y., (1998), *Kıyı ve Liman Mühendisliği*, TMMOB, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	18.05.1976	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1990-1993	İstanbul Bayrampaşa Tuna Lisesi
Lisans	1994-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2000-	Devam ediyor

Çalıştığı kurumlar

2000- Devam ediyor YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi

