TÜRK BOĞAZLARI TRAFİK AYRIM ŞERİTLERİNDE EKONOMİK DENİZ ULAŞTIRMA KAPASİTESİ METODU

Birsen KOLDEMİR[1] Sadettin ÖZEN[2]

SUMMARY

The number of ships and their capacities which sail through Turkish Straits have been increased in the important ratios. This can cause both capacity problems and long waiting times during transit passes of the Turkish Straits by these ships. The solution of these problem related to optimal stability of demand has considered as a priority problem. The economics and technical capacity conditions of traffic separation schemes in Turkish Straits are investigated and explained.

The maximum technical capacity method of traffic separation schemes in Turkish Straits is explained in this study. It is showed that the maximum technical capacity in Turkish Straits depend on average length of ships, distance of engine cut-off, stopping acceleration, time of engine stop, safety coefficient of distance between the ships, applicability of technical and operational characteristics. Optimal traffic density method is developed by using cost function analysis which is the total of both element of infrastructure investment and operational cost of traffic separation schemes and system of ship service with waiting time cost depends on average length of ship queuing.

ÖZET

Türk Boğazlarını kullanan gemilerin sayılarında ve taşıma kapasitelerinde önemli artışlar olmuştur. Bu artış ileride kapasite zorlamalarına neden olabileceği gibi, gemilerin boğaz geçişlerinde uzun süreli beklemelerle karşılaşabileceği durumunu ortaya koymaktadır. Bu şekilde beliren problemin arz ve talebin optimum dengelerine bağlı olarak çözümlenmesi öncelikli bir problem olarak görülmüştür. Bu yönde Türk Boğazları trafik ayrım şeritleri maksimum teknik kapasite ve ekonomik kapasite koşullarının araştırılması ve açıklanması üzerinde durulmuştur.

Çalışmada Türk Boğazları trafik ayrım şeritleri maksimum teknik kapasite metodu verilmiştir. Boğazlarda maksimum teknik kapasite; gemilerin ortalama boyuna, durma mesafesine, durma ivmesine, makine stop intikal süresine, gemiler arası uzaklığın emniyet katsayısına, teknik ve işletme karakteristiklerinin uygulanabilirliğine bağlı olduğu ortaya konmuştur. Trafik ayrım şeridi altyapı yatırım ve işletme maliyeti bileşeni ile servis sistemi ortalama kuyruk uzunluğuna bağlı servis ve bekleme zaman maliyeti bileşeninin toplamı olarak tanımlanan maliyet fonksiyonun analizi ile optimum trafik yoğunluğu ifadesi saptanmıştır.

---

1 İ.Ü., Mühendislik Fakültesi, Avcılar/İstanbul.
2 İ.Ü., Mühendislik Fakültesi, Avcılar/İstanbul.

1. GİRİŞ

Türk Boğazları, Türkiye ve diğer birçok ülke açısından büyük bir öneme sahiptir. Dünya ölçeğinde hızla gelişen deniz yolu ulaştırmasının sonucu olarak beliren Boğazlar kapasitesi problemi tanımı ve çözümü Türkiye ölçeğinde güncel problem haline gelmiştir.

Trafik ayrım şeridi bir gidiş - bir geliş olmak üzere iki şeritten oluşmaktadır. Trafik ayrım şeridinden bir yönde, bir günde veya bir yılda geçirilebilecek en büyük gemi sayısı trafik ayrım şeridi kapasitesi olarak tanımlanabilir. Boğazlar kapasitesi ise belirli bir birim zaman döneminde her bir yönde hizmet sunan trafik ayrım şeridi kapasiteleri toplamı şeklinde tanımlanabilir[1].

İstatistik verilere göre trafik ayrım şeritlerinde oluşan trafik yoğunluğunun kapasite değerlerine zaman zaman erişebildiği; kontrollü ve zorlamalı trafik akımı koşullarının oluşabildiği gözlemlenmektedir. Bu durumun ise servis sisteminin boş kalma kayıpları yanında gemilerin bekleme zaman kayıpları maliyetlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu yönde Türk Boğazları trafik ayırım şeritlerinin ekonomik kapasitelerinin maliyet ölçütüne bağlı olarak belirlenmesi problemi ortaya çıkmaktadır.

Diğer yandan çok büyük yatırımlar yapılarak, ileri teknolojiler kullanılarak Türk Boğazlarını geçen gemilerin güvenli, daha seri, daha çabuk geçmeleri yanında, trafik ayrım şeridi kapasite kayıplarının olmaması istenmektedir. Bu bağlamda Türk Boğazları altyapı yatırım ve gemi işletme maliyetlerinin minimum olması istenmektedir.

Çalışma bu yönde; Türk Boğazları trafik ayrım şeritleri altyapı ve donanım, yatırım, bakım-onarım, işletme maliyetleri ile gemi başına servis ve bekleme maliyetleri toplamının minimum olduğu kapasite değerine ulaşacak bir model ve metod geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Çalışmada; trafik ayrım şeridinde teknik kapasite, maksimum teknik kapasite ile teknik, işletme ve mali karakteristik değerlerine; tek kanallı kuyruk teorisi uygulamasına bağlı ekonomik kapasite metotlarının geliştirilmesini içermektedir.

2. TÜRK BOĞAZLARI DENİZ ULAŞTIRMA KAPASİTESİ

Türk Boğazları trafik ayrım şeritlerinde teknik/teorik kapasite, maksimum teknik kapasite tanımlanarak ekonomik kapasite metodu tanımlanmıştır.

2. 1.Teknik Kapasite

Teknik kapasite birimlerin geliş aralığının ve belirli bir kesinden geçiş süresinin eşit ve düzenli olduğu trafik akımı koşullarında birim zamanda birim hattan geçirilebilen maksimum birim sayısı olarak tanımlanır [2], [3], [4]. Teknik kapasite teorik kapasite olarak da tanımlanır.

Bu tanım yönünde Boğazlar Tüzüğü'ne göre Boğazda trafik ayrım şeridinde bir yönde seyreden gemiler, V knots hızla önlerindeki deniz aracını L_o gomina mesafe ile arkadan izlemeleri gerekmektedir. Buna göre, trafik ayrım şeridinde birbirini izleyen deniz araçlarının başları arasındaki uzaklık, Şekil 1'deki gibi; L_o gomina ve L_t öndeki taşıt boyunun toplamı kadar olmaktadır. Bu seyir durumunda herhangi bir anda arkadaki geminin başının öndeki geminin başına ulaşma seyir süresi,

$$t = \frac{L_o + L_t}{V} \qquad (1)$$

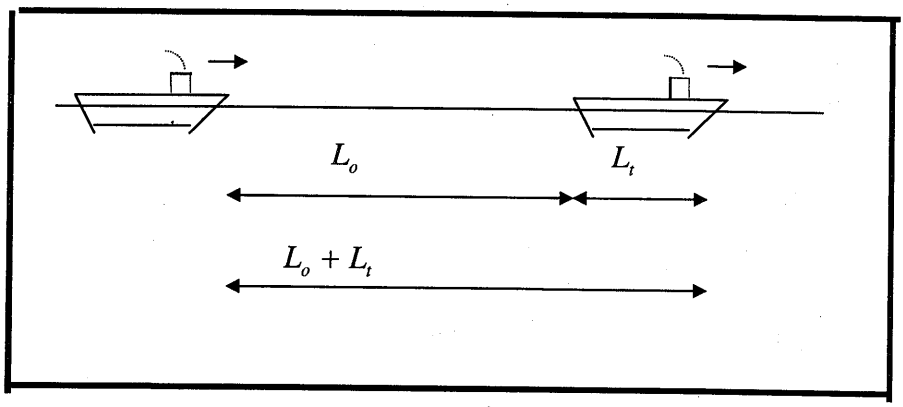
olur. Buradan bir günde, bir yönde geçecek gemi sayısı ,

$$N = \frac{24}{t} \qquad (2)$$

olarak bulunur. Yine buradan, bir yılda bir yönde geçebilecek gemi sayısı;

$$N_s = 365\,\beta\ N \qquad (3)$$

şeklinde tanımlanabilir. Bu ifadede β = 0,60 - 0,80 olmak üzere, Boğazlar yıllık kapasite kullanım oranıdır. Kapasite kullanım oranı, boğazdan geçen gemilerin güvenli geçişlerini sağlamaya yönelik çeşitli uygulamaların yanı sıra doğa koşulları sonucu meydana gelen kayıpların boğazdan geçebilecek gemi sayısına etki ettirilmesini sağlayan bir büyüklüktür. Ayrıca büyük gemilerin geçişleri, sportif faaliyetler, deniz kazaları, kazaya karşı önlemler trafik ayrım şeritleri kapasite kullanım kayıplarına neden olabilmektedir.



Şekil 1. Trafik Ayrım Şeridinde Birbirini Emniyetle İzleyen Gemilerin Seyir Konumu

Bu belirleme trafiğin Türk Boğazları trafik ayrım şeridini sadece uğraklı ve uğraksız kullanması durumu için geçerlidir. Bu belirleme trafik ayrım şeridini dikey olarak kesen yerel trafiğin de dikkate alınması için yapılmaktadır.

Yerel trafik ile birlikte Boğazlar trafiğinin Poisson, üstel dağılım fonksiyonlarına, kuyruk teorisine göre incelendiğinde; trafik hacminin zaman zaman İstanbul Boğazı deniz aracı kapasitesi değerine yaklaşabileceği, riskli durumlar oluşturabileceği, bekleme zaman kayıplarına neden olabileceği belirginlik kazanır [5], [6], [7].

2.2. Maksimum Teknik Kapasite

Boğazlarda Boğazlar Tüzüğü'nün temel hükümlerine uygun olarak teorik / teknik kapasitenin maksimum değerlere çıkarılması, gemilerin ortalama boyuna, durma mesafesine / durma ivmesine, makina stop intikal süresine, gemiler arası uzaklığın emniyet katsayısına, teknik ve işletme karakteristiklerinin güvenli ve kontrollü olarak uygulanabilirliğine bağlıdır. Bir başka anlatım ile Boğazlar Tüzüğü'nün kuralları ve verilerine göre Boğazlar trafik ayrım şeridi kapasitesinin artırılması Boğazlar trafiğinin kontrol edilebilirliğine, güvenli yönetimine bağlıdır. Bu yönde Boğazlarda trafik ayrım şeridinin maksimum teknik kapasite büyüklüğü belirlenmeye çalışılmıştır.

Bir geminin V km/saat hızında öndeki gemiyi L_o m. uzaklık ile arkadan izlerken, öndeki geminin herhangi bir nedenle ani olarak stop etmesi/durması durumunda; arkadaki geminin L_o m. uzaklıkta durabilmesini tanımlayan temel ifade,

$$(L_0 + L_t) - L_t - \eta t \frac{V}{3,6} = \eta \frac{V^2}{25,92\alpha} \qquad (4)$$

biçiminde yazılabilir. Bu ifade de;

η = emniyet katsayısı, 1,2 - 2,0 ,
t = makina stop intikal süresi, 4-6 saniye ,
V = geminin ortalama seyir hızı, km/saat ,
α = ortalama durma ivmesi, m/sn^2

fiziksel büyüklüklerini gösterir. (4)'den yararlanarak ortalama durma ivmesi;

$$\alpha = \eta \frac{V^2}{25,92\left(L_0 - \eta t \frac{V}{3,6}\right)}$$

şeklinde ifade edilir.

Ayrıca (4)'den yararlanarak gemiler arası L_o m. uzaklık V km/sa hızına bağlı olarak,

$$L_o = L - L_t = \eta\left(t\frac{V}{3,6} + \frac{V^2}{25,92\alpha}\right) \qquad (5)$$

olarak belirlenir. Bu ifade incelendiğinde, gemiler arası L_o uzaklığının gemilerin ortalama seyir hızına, geminin durma ivmesine bağlı olduğu görülür. Buradan bir trafik ayrım şeridinde aynı yönde birbirini izleyen gemiler arası L güvenli uzaklık ifadesi (5)'den yararlanarak ve Şekil 1'de görüldüğü gibi

$$L = L_o + L_t = \eta\left(t\frac{V}{3,6} + \frac{V^2}{25,92\alpha}\right) + L_t \qquad (6)$$

olur. (6) den yararlanarak L 'nin m. olarak ,gemiler arası güvenli takip aralığı süresi ifadesi,

$$t_i(V) = \frac{L}{\frac{V}{3,6}} = 3,6\frac{L_t}{V} + \eta\left(t + \frac{V}{7,2\alpha}\right) \qquad (7)$$

biçiminde belirlenebilir. Bu $t_i(V)$ fonksiyonu hızın bir konveks fonksiyonudur ve bir minimum değerden geçer. Buna göre (7) ifadesinden,

$$d[t_i(V)] / dV = 0$$

koşulundan $t_i(V)$ minimum yapan hız ifadesi,

$$V_* = 3,6\sqrt{2\frac{L_t}{\eta}\alpha} \qquad (8)$$

olarak bulunur. (7) ve (8) ifadelerinden trafik ayırım şeridinde gemiler arası minimum izleme süresi aralığı ifadesi,

$$t_{\min} = t_i(V = V_*) = \eta t + \sqrt{2\frac{\eta L_t}{\alpha}} \qquad (9)$$

elde edilir. (9)'dan yararlanarak bir yönde bir trafik ayırım şeridinin saatlik teknik kapasite fonksiyonu $N(V) = 1 / t_i(V)$ şeklinde, bu yönde saatlik maksimum teknik kapasite ifadesi,

$$N_{\max s} = \frac{3600}{t_{\min}} = \frac{3600}{\eta t + \sqrt{2\frac{\eta L_t}{\alpha}}} \qquad (10)$$

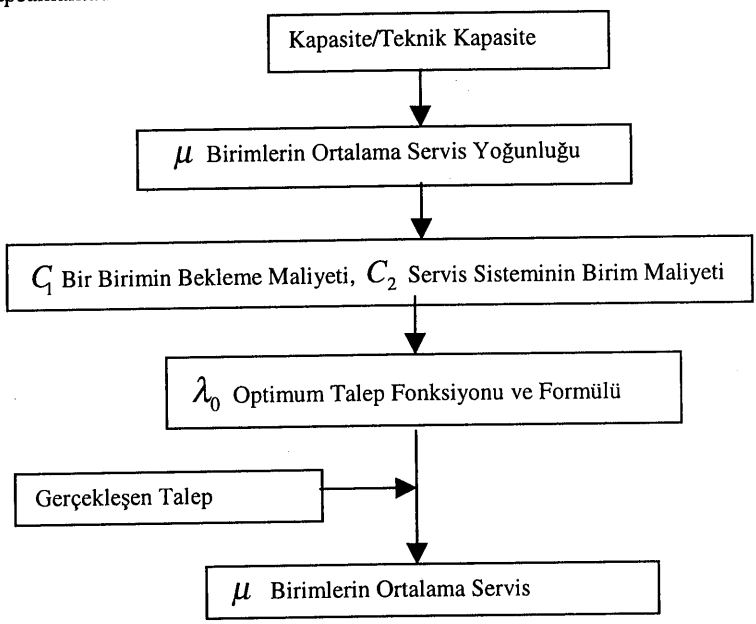
olarak elde edilir. Yukarıdaki (3) ve (10) ifadelerinden β = 0,60 - 0,80 değeri ile bir günde bir yönde geçirilebilecek maksimum gemi sayısı ifadesi,

$$N_{\max g} = \beta\, 24\, N_{\max s} \qquad (11)$$

biçiminde tanımlanır.

2.3. Ekonomik Kapasite Yaklaşımı

Bu çalışma çerçevesinde ekonomik kapasite Türk Boğazlarında belirli bir değerlendirme dönemindeki yatırım ve işletme maliyetleri toplamını minimum kılan kapasite olarak tanımlanır. Bu doğrultuda belirli teknik kapasite koşullarına uygun ekonomik/optimum kapasite işletme değerlerinin ve koşullarının belirlenmesine olanak veren metod verilmektedir. Bu metod Şekil 2 'de görülen aşamalar ile trafik ayrım şeridi altyapı yatırım ve işletme maliyeti bileşeni ile servis sistemi ortalama kuyruk uzunluğuna bağlı gemi servis maliyeti ile bekleme zaman maliyeti bileşenlerinin toplamı olarak tanımlanan maliyet fonksiyonun analizini ve optimum trafik yoğunluğunu veren hesaplamayı kapsamaktadır.



Şekil 2. Optimum Kapasite Yöntemi

2.3.1.Birim Maliyetler ve Maliyet Fonksiyonu

Boğazlara ilişkin bekleme ve kuyruk uzunluğu istatistik değerleri elde etme güçlüğü bulunmaktadır. Bu yönde fener ve radar sistemine ait yatırım ve işletme maliyetleri belirlenebilmesine karşın, bu sistemlere ait μ teknik kapasite değerlerini, maliyet fonksiyonları ile aralarındaki sürekliliği tanımlamada güçlük bulunmaktadır.

Bu veriler ve değerlendirmeler doğrultusunda belirli teknik kapasite koşullarına uygun optimum talep yoğunluğu değerleri belirlenerek bu talep değerlerini gerçekleyen uygun kapasite işletme koşullarının ve değerlerinin belirlenmesi, önerilmesi yaklaşımı benimsenmiştir.

Çalışma Şekil 2'de verilen akış şeması ve model doğrultusunda ele alınmakta ve modeldeki maliyet fonksiyonu bir günlük zaman dönemi için belirlenmektedir. Bu yönde bir günlük zaman dönemi için C_1 gemi birim maliyeti ile C_2' trafik ayrım şeridi birim maliyetini tanımlamak gerekir.

Geminin C_1 günlük maliyeti, maliyet muhasebesi tanımlamaları ve hesaplamaları doğrultusunda belirlenir. Buradan toplam maliyet fonksiyonu Boğazlar trafik ayrım şeridi servis sisteminde C_1 bir birimin bekleme maliyetine, C_2' servis sisteminin birim maliyetine, λ birimlerin ortalama geliş yoğunluğuna ve μ birimlerin ortalama servis yoğunluğuna bağlı olarak belirlenir.

Trafik ayrım şeridi maliyet fonksiyonu genel olarak; $CA(\lambda)$ trafik ayrım şeridindeki birimlerin bekleme maliyeti ile trafik ayrım şeridi maliyetinin toplam maliyet fonksiyonu yaklaşımı; $CB(\lambda)$ trafik ayrım şeridi servis sistemindeki birimlerin bekleme kayıpları ile servis sisteminin boş kalma kayıplarının toplam maliyet fonksiyonu yaklaşımları olmak üzere iki şekilde ele alınır.

2.3.2. Servis Sistemi Maliyet Fonksiyonu Yaklaşımı

Trafik ayrım şeridindeki birimlerin bekleme maliyeti ile trafik ayrım şeridi amortisman, faiz ve işletme maliyetinin toplamı olarak günlük maliyet fonksiyonu;

$$CA(\lambda) = \sum_{n=0}^{\infty} (C_1 n + C_2')P_n$$

$$CA(\lambda) = \sum_{n=0}^{\infty} (C_1 n + (C_2 + kC_3\lambda))P_n$$

$$CA(\lambda) = C_1 \sum_{n=0}^{\infty} nP_n + C_2 \sum_{n=0}^{\infty} P_n + kC_3\lambda \sum_{n=0}^{\infty} P_n \qquad (12)$$

şeklinde ifade edilir.

3. ÇÖZÜMLEME, BULGULAR VE KAPASİTE FORMÜLÜ

Burada bir gemi başına ortalama maliyetin bulunması amaçlandığından (12)'deki günlük toplam maliyet fonksiyonu λ' ya bölünerek ortalama maliyet fonksiyonu bulunur:

$$COA\ (\lambda) = \frac{CA(\lambda)}{\lambda} = \frac{C_1}{\mu - \lambda} + \frac{C_2}{\lambda} + kC_3 \qquad (13)$$

$CA\ (\lambda)$ servis sistemi toplam maliyet fonksiyonu ve $CB\ (\lambda)$ servis sistemi boş kalma ve birimlerin bekleme kayıpları toplam maliyet fonksiyonundan elde edilen ortalama maliyet fonksiyonu minimum maliyet değerini veren λ_0 optimum trafik talebi yoğunluğu;

- $C_1 < C_2$ koşulunda,

$$\lambda_0 = \mu \frac{1}{C_2 - C_1} (C_2 - \sqrt{C_1 C_2})$$

- $C_2 < C_1$ koşulunda,

$$\lambda_0 = \mu \frac{1}{C_1 - C_2} (\sqrt{C_1 C_2} - C_2)$$

- $C_1 = C_2$ koşulunda,

$$\lambda_0 = \frac{\mu}{2}$$

şeklinde belirlenir. Bu ifadelerin analitik incelenmesinden,

$$\lambda_0 = \mu \frac{\sqrt{C_2}}{\sqrt{C_1} + \sqrt{C_2}} \qquad (14)$$

ifadesine ulaşılır. Bu ifadenin λ_0 optimum trafik talebi yoğunluğunun gemilerin teknik işletme karakteristik değerleri ile birim maliyetlerin kare kök oranlarına bağlı olduğu görülür. Optimum trafik yoğunluğunun servis süresi birim maliyetine, servis sistemi birim zamandaki sermaye amortisman ve işletme maliyetlerine ile teknik kapasite büyüklüğüne bağlı olduğu ortaya çıkar.

Belirtilen $COA\ (\lambda)$ ve $COB\ (\lambda)$ ortalama maliyet fonksiyonlarının minimum değerlerine bağlı olarak elde edilen λ_0 optimum trafik talebi yoğunluğuna karşı gelen μ_0 servis yoğunluğu, $\mu_0 < \mu$ koşulunu sağlamak üzere;

- $C_1 < C_2$ koşulunda,

$$\mu_0 = \frac{\lambda_0 (C_2 - C_1)}{(C_2 - \sqrt{C_1 C_2})}$$

- $C_2 < C_1$ koşulunda,

$$\mu_0 = \frac{\lambda_0(C_1 - C_2)}{(\sqrt{C_1 C_2} - C_2)}$$

- $C_1 = C_2$ koşulunda,

$$\mu_0 = 2\lambda_0$$

şeklinde belirlenir. Yukarıdaki ifadeler analitik olarak daha ayrıntıda irdelendiğinde;

$$\mu_0 = \frac{\lambda_0(\sqrt{C_1} + \sqrt{C_2})}{\sqrt{C_2}} < \mu \qquad (15)$$

şeklini alır.

Yukarıda belirlenen bulguların genellenmesi ile (14)'de μ gemi trafiği servis yoğunluğu değerinin, (11) ifadesi ile verilen günlük maksimum teknik kapasitesi büyüklüğüne eşit olması gerektiği kabul edilebilir. Bu doğrultuda μ uğraklı ve uğraksız gemi trafiği servis yoğunluğu değerinin, (2) ifadesi ile tanımlanan N_y yerel gemi trafiğinin trafik ayrım şeridini kullanım süresi büyüklüğü dikkate alınarak günlük maksimum teknik kapasite ifadesi aşağıdaki şekilde belirlenir:

$$N_{\max g} = 3600\,\beta \left(\frac{24 - N_y \dfrac{L_a + L_s}{V}}{\eta t + \sqrt{2\dfrac{\eta L_t}{\alpha}}} \right) \qquad (16)$$

Buradan (14) ifadesindeki μ ortalama servis yoğunluğu yerine(16) ifadesindeki $N_{\max g}$ konulur ise optimum trafik talebi yoğunluğu ifadesi;

$$\lambda_0 = 3600\,\beta \left(\frac{24 - N_y \dfrac{L_a + L_s}{V}}{\eta t + \sqrt{2\dfrac{\eta L_t}{\alpha}}} \right) \frac{\sqrt{C_2}}{\sqrt{C_1} + \sqrt{C_2}} \qquad (17)$$

şeklinde elde edilmiş olur.

4. SONUÇ VE ÖNERİ

Bu metot ile optimum trafik yoğunluğunun servis süresi birim maliyetine, servis sistemi birim zamandaki sermaye amortisman ve işletme maliyetlerine ile teknik kapasite büyüklüğüne bağlı olduğu ortaya konmuştur. Maliyet fonksiyonlarının ve

bulgularının incelenmesinden servis sistemi toplam maliyet fonksiyonu sürekli artan bir fonksiyon iken servis sitemi ortalama maliyet fonksiyonu ise önce azalan, sonra artan bir konveks fonksiyon olduğu ve $C_2 < C_1$ koşulunda λ_0 optimum trafik talebi yoğunluğunun $\lambda_0 < \mu/2$ gemi/gün-şerit aralığında ortaya çıktığı görülür. Yine bu ortalama maliyet fonksiyonlarında C_1 ve C_2 değerlerinin; $C_1 < C_2$ koşulunda λ_0 optimum trafik talebi yoğunluğu $\mu/2 < \lambda_0 < \mu$ aralığında, birbirine yaklaşması durumunda ise λ_0 optimum trafik talebi yoğunluğu $\lambda_0 \cong \mu/2$ civarında ortaya çıktığı görülür.

Optimum trafik talebi yoğunluğu ifadesinin incelenmesinden trafik ayrım şeritleri maksimum teknik kapasite değerinin sabit olması nedeni ile yerel trafik miktarının artışına bağlı olarak transit trafik kapasitesinin azalmakta olduğu görülür. Bu ise İstanbul Boğazından deniz ulaştırmasından yararlanıldığı ölçüde uğraklı ve uğraksız trafiğin payının azalacağını ortaya koyar. Yine ifadelerin ve bulguların incelenmesinden Boğazlara ilişkin ileri ve yüksek teknoloji radar sistemlerinin Boğazlar teknik kapasitesini ve optimum talep yoğunluğunu belirli bir değerden daha fazla artırılamayacağı görülür. Bu ise İstanbul Boğazında büyük yatırım sermayesi gerektiren radar sistemlerinin etkin ve ekonomik olmayabileceğini ortaya koyar.

KAYNAKLAR

1.KOLDEMİR, B., (2000): "Boğazlar Trafik Ayrım Şeritlerinde Ekonomik Deniz Ulaştırma Kapasitesi Modelinin Geliştirilmesi , İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

2. UMAR, F., YAYLA, N.,(1992):"Yol İnşaatı", İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, Sayı:1470, İstanbul.

3. ÖZEN, S., KOLDEMİR, B., AZAKLI, B., (1998): "Boğazlar Kapasitesinin Tahmin Yöntemi", Denizatı Dergisi, Yıl:12, Sayı 11-12, İstanbul.

4. MORLOK, E.K., (1978): "Introduction to Trasportation Engineering and Planning", Mc Graw Hill, New York.

5. ROSS,S.M., (1987): "Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists", John Wiley and Sons, New York.

6. Rea, A., (1993): "Statistcs Problem Solver, Research and Education Association" , Piscataway, New Jersey.

7. KARAYALÇIN, İ.; (1979): "Harekat Araştırması", İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.