

HAVAALANI BETON KAPLAMA KALINLIK HESAPLARINDA UÇAKLARIN GEÇİŞ/ÖRTME ORANLARININ TAYİNİ

Y.Doç.Dr.Emin GÜÇBİLMEZ
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Doğu Akdeniz Üniversitesi
Gazimağusa, KKTC

ÖZET

Havaalanı rijit (beton) kaplamalarının kalınlık hesabında kullanılan tasarım formülleri betonun "eğilme dayanımı", kaplamada oluşan "çekme gerilmeleri" ve uçak trafiğine bağlı "örtme" miktarı arasındaki ilişkilere göre belirlenmişlerdir.

Belirli bir uçağın kaplamada meydana getireceği hasar uçak iniş takımlarının geometrisi, tekerlek yükleri, temas basıncı, uçağın kaplamada bulunduğu yer ve kaplamanın daha önceki yüklenme durumu gibi çeşitli faktörlere bağlı olup bunların kaplamadaki ortak etkilerini tek bir sayı ile belirtebilmek için "örtme" kavramı geliştirilmiştir. Havaalanını kullanacak çeşitli uçakların pist veya taksiruttan her geçişlerinin kaç örtme meydana getireceği istatistiksel yöntemlerle hesaplanarak havaalanı tasarım ömrü süresince oluşacak toplam örtme sayısına göre gerekli kaplama kalınlığı bulunmaktadır.

Bu bildiride herhangi bir uçağın geçiş/örtme oranının tayini için gerekli istatistiksel yöntem işlenmektedir.

1. AMAÇ

1.1. Giriş

Havaalanı beton kaplamalarının kalınlık tasarımında ABD Ordu Mühendislik Teşkilatı (US Army Corps of Engineers) (1) ve ABD Federal Havacılık İdaresi (US Federal Aviation Administration) (2) gibi kurumun uzmanı kuruluşlarca kullanılan formüller aşağıda verildiği gibidir:

a) ABD Ordu Mühendislik Teşkilatı Formülü :

$$DF = 0.250 \log_{10} c + 0.500$$

[1]

b) ABD Federal Havacılık İdaresi Formülleri:

$$DF = 0.144 \log_{10} c + 0.768 \quad (c < 5000 \text{ olduğunda}) \quad [2]$$

$$DF = 0.347 \log_{10} c + 0.017 \quad (c > 5000 \text{ olduğunda}) \quad [3]$$

c) Yine aynı konuda E. Güçbilmez (3) tarafından geliştirilen formül ise şu şekildedir:

$$DF = 0.301 \log_{10} c + 0.347 \quad [4]$$

Yukarıda verilen tüm eşitlikler, ABD'nin çeşitli eyaletlerindeki havaalanlarında yapılan tam ölçekli hızlandırılmış deney sonuçlarının analizi sonucu elde edilmişlerdir.

Formüllerde:

c = Örtme, (Adet). Çeşitli uçakların kaplamadan geçiş miktarlarına bağlı olup, aşağıdaki bölümlerde detaylı olarak ele alınacaktır.

$$DF = \text{Dizayn Faktörü} = \frac{R}{0.75 \sigma} \quad [5]$$

R = Betonun kopma modülü, (MPa)

σ = Beton kaplamanın altında, Westergaard kenar yükleme modeliyle (4,5) hesaplanan çekme gerilmesi, (MPa)

Havaalanında kullanılacak betonun kopma modülü laboratuvar deneyleri ile, örtme miktarı da bu bildiride sunulan yöntemle belirlendiğinde, yukarıdaki formüllerde istenilen çekme gerilmesini sağlayan beton plak kalınlığı, kaplama kalınlığı olarak seçilecektir. Plak kalınlığına göre çekme gerilmesini belirleme yöntemi Referans 5'de işlenmiştir.

1.2. Amaç

Bu bildirinin amacı rijit (beton) havaalanı kaplamalarını kullanacak çeşitli uçakların meydana getirdikleri örtme miktarlarının belirlenmesini sağlayacak yöntemin tanıtılması ve dolayısıyla ülkemizde önümüzdeki yıllarda sayıları hızla artması beklenen özel veya resmi havaalanlarının kaplama kalınlıklarının sağlıklı bir şekilde hesaplanmasına katkıda bulunmaktadır.

1.3. Kapsam

Bu bildiride tanıtılan yöntemle, ana iniş takımı geometrisi (tekerlekler arası mesafeler), tekerlek yükü ve lastik temas basıncı bilinen her türlü uçağın rijit (beton) kaplamadan bir geçişinin yarattığı örtme miktarı kolaylıkla bulunabilir.

2. ÖRTME

2.1. Kavram ve Tarif

Havaalanı kaplamalarının kalınlık tasarımında dikkate alınan en önemli etkenlerden birisi kaplamayı kullanan uçak trafiğidir. Belirli bir uçağın belirli bir tekerleğinin kaplamada meydana getireceği hasar miktarı çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerden bir kısmı şu şekilde sıralanabilir:

- a) iniş takımı geometrisi
- b) tekerlek yükü
- c) lastik temas basıncı
- d) uçağın kaplamada bulunduğu yer
- e) kaplamanın daha önceki yüklenme durumu

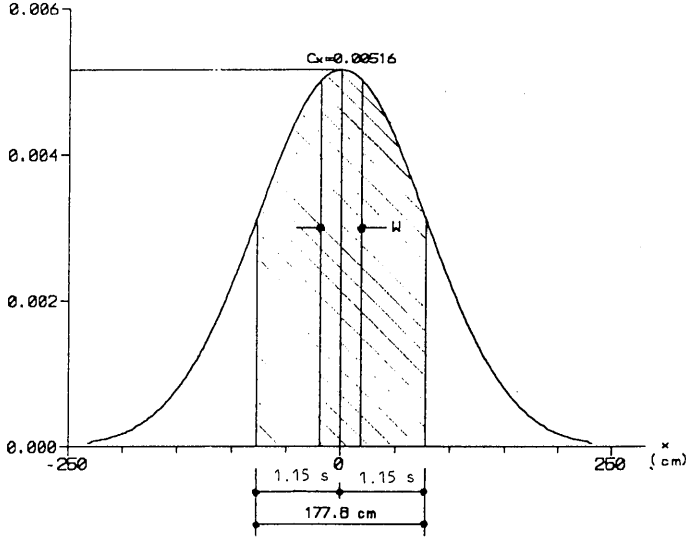
Belirtilen bu faktörlerin kaplamadaki ortak etkilerini tek bir sayı ile belirtebilmek için "örtme" kavramı geliştirilmiştir. Herhangi bir uçağın pistten veya taksiruttan bir geçişinin ne kadar örtme meydana getirdiği aşağıda verilen yöntemle hesaplanarak o uçak tipi için bir "geçiş/örtme oranı" (p/c oranı) bulunmaktadır; mesela p/c oranı=4 olan bir uçağın o pistten 4 geçişi 1 örtme meydana getirmektedir. Tasarım ömrü süresince hangi tiplerde kaç adet uçağın havaalanını kullanacağı planlama safhasında saptanmış olduğundan, ömür sonunda oluşacak toplam örtme adedinin de bir parametre olarak yer aldığı formüllerle kaplama kalınlığı bulunmaktadır.

Rijit kaplamalarda örtme, uçak trafiğinden dolayı kaplama içinde oluşan maksimum gerilme adedinin bir göstergesidir; trafik şeridi sınırları dahilinde, kaplamanın içindeki her noktada bir maksimum gerilme oluştuğunda bir örtme meydana gelir.

2.2. Uçak Trafiğinin Enine Dağılımı

Havaalanlarında ana taksirutlar, pistlerin baş ve sonundaki 300'er metrelik kısımlar ve apronlar kaplama bakımından "kritik bölge" olarak nitelendirilirler. ABD'de yapılan çalışmalarda (6), trafik şeridinde ilerleyen uçaklardan %75'inin havaalanı kaplamalarının kritik bölgelerinde şerit ekseninin her iki tarafında 88.9'er cm içinde (yayılma genişliği = $2 \times 88.9 = 177.8 \text{ cm}$), kritik olmayan bölgelerinde ise şerit ekseninin her iki tarafında 177.8'er cm (yayılma genişliği = $2 \times 177.8 = 355.6 \text{ cm}$) içinde kaldıkları ve uçak ekseninin şerit eksenine göre hareket dağılımının bir normal dağılım eğrisi (çan eğrisi) özelliklerini gösterdiği anlaşılmıştır. Aynı durum uçağın her bir tekerlek eksenini için de geçerlidir.

Uçak tekerlek lastiklerinden birinin ortasındaki 1cm genişliğindeki bölümünün ekseninin, trafik şeridinde yayılımını gösteren çan eğrisi Şekil 1 de verilmiştir. Çan eğrisinin istatistiksel özelliklerine göre toplam alanı 1 birim olup bunun %75'i eğri eksenine göre ± 1.15 standard sapma (s) arasındadır (Şekil 1'deki taralı alan). Kritik bölgelerde uçakların %75'i 177.80cm içinde yayıldığına göre $2 \times 1.15s = 177.80$ eşitliğinden standard sapma $s = 77.30\text{cm}$ olarak bulunur. Yayılma genişliği 355.6cm olan bölgelerde ise $s = 154.61\text{cm}$ dir.



Şekil 1. Uçak Tekerlek Lastiği Ekseninin Trafik Şeridinde Yayılma Eğrisi

Normal dağılım eğrisi şu formülle ifade edilir:

$$f(x, u, s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s} \cdot e^{-0.5 \left(\frac{x-u}{s}\right)^2} \quad [6]$$

Formülde:

x =tekerlek ekseninden itibaren yatay mesafe (cm)

u =dağılımın ortalaması (tek tekerlek için $u=0$, birden fazla tekerlek için u =ilk tekerlek eksenine ele alınan tekerlek eksenine arasındaki mesafe) (cm)

s =dağılımın standard sapması (cm)

Şekil 1'de tek tekerlek ve kritik bölgeler için verilen eğri, $x=-232\text{cm}$ ile $+232\text{cm}$ arasında değerler alırken, $s=77.30\text{cm}$ ve $u=0$ alınarak hesaplanan ordinat değerlerine göre çizilmiştir; $x=0$ olduğunda, eğrinin maksimum ordinatı $Cx=0.00516$ olmaktadır. Lastik genişliği W (cm) olarak alınırsa, tekerlek eksenini $-W/2$ ile $+W/2$ arasında olduğu zaman tekerlek geçişleri 0'da birikmektedir. Dolayısıyla 0'da oluşacak maksimum birikmeyi bulabilmek için fonksiyonun $-W/2$ ile $+W/2$ arasında integralinin alınması gerekmektedir ki, bu da $(Cx).(W)$ olmaktadır. Buna göre bu tek tekerleğin her geçişinde oluşan örtme $c=(Cx).(W)=0.00516W$ olarak belirlenir.

3.GEÇİŞ/ÖRTME ORANI HESABI

3.1. Genel Hususlar

Havaalanı kaplamalarının kalınlık hesabında uçak geçişi adedi, uçak kalkış adedine eşit olarak alınmaktadır. Bunun nedeni, kalkış sırasında uçak en ağır halinde olduğundan, kaplamaya intikal eden yüklerin daha yüksek olmasındandır. Yapılan ölçümler, iniş yapan bir uçağın kaplamada yarattığı gerilmelerin, kalkış yapan aynı uçağa göre daha düşük olduğunu göstermiş (7) ve kaplama kalınlık hesabı metodları uçak geçiş adedi=uçak kalkış adedi olarak geliştirilmiştir.

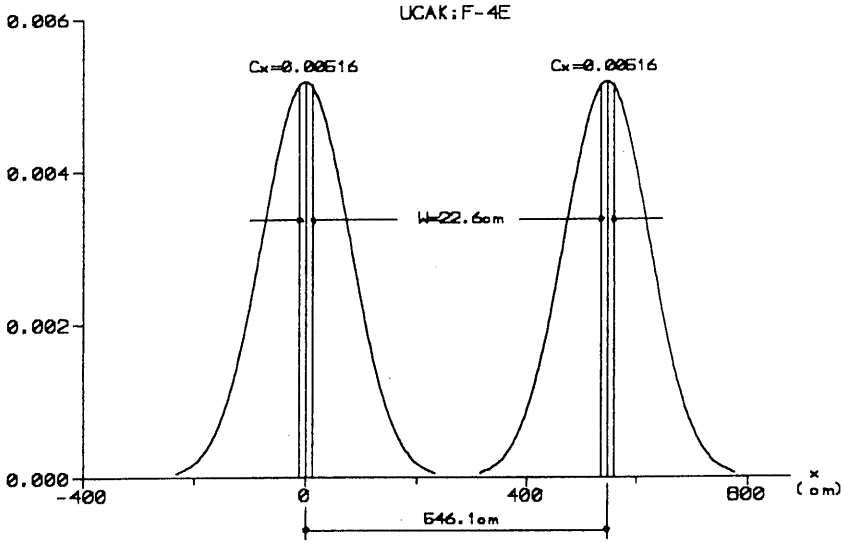
Genellikle bir uçağın toplam yükünün küçük bir yüzdesi (takriben %5'i) burundaki iniş takımı ile, geri kalan kısmı ise ana iniş takımları ile kaplamaya intikal etmekte, bu nedenle kaplama kalınlık hesabında, ana iniş takımındaki tekerlek yükleri dikkate alınmaktadır. Bir örnek olarak, azami kalkış kütlesi 154500 kg olan, her biri 4'er tekerlekli iki ana iniş takımına bu yükün %96'si intikal eden ve lastik basıncı 12.03kg/cm^2 (1.18MPa) olarak verilen bir uçağın tekerlek yükü $(154500*0.96)/8 = 18540\text{kg}$, lastik temas alanı ise $A=18540/12.03 = 1541\text{cm}^2$ dir. Lastiklerin kaplamaya temas noktasında eliptik bir şekil aldıkları ve bu elipsin uzun kenar:kısa kenar oranının 5:3 olduğu kabuluyla, lastik genişliği $W=0.874x\sqrt{A}$ olarak verilir ve örneğimizde $W=34.3\text{cm}$ bulunur. Geçiş/örtme (p/c) oranı hesaplarında da ana iniş takımları dikkate alınır.

Aşağıdaki bölümlerde çeşitli ana iniş takımı düzenlemeleri için p/c oranlarının hesap yöntemleri ele alınmaktadır.

3.1. Ana Iniş Takımları Tek Tekerlekli Uçaklar

F-4E uçağının, herbirinde birer tekerlek olan iki ana iniş takımı mevcuttur. Ana iniş takımları tekerlek eksenleri arasındaki mesafe 546.1cm , lastik genişliği 22.6cm dir. Kritik bölgelerde uçak tekerlek eksenlerinin trafik şeridindeki enine yayılma eğrileri Şekil 2 de gösterilmiştir. Her iki eğrinin ordinat hesabında $s=77.30\text{cm}$ alınırken, ilk tekerlek için $u=0$, ikincisi içinse $u=546.1\text{cm}$ olarak eğri denkleminde konmuştur. Denklemdaki x değerleri, her iki eğri şeklinin belirgin olarak görülebileceği -232cm ile $+778\text{cm}$ arasında değiştirilmiştir. Kolaylık için, eğri ordinatları "Lotus 1-2-3" bilgisayar programı (8) ile hesap edilmiş, eğriler ise "Grapher" bilgisayar programı (9) ile çizilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, her iki tekerlek için de maksimum ordinat $Cx=0.00516$ olup, kendi trafik şeritlerinde

meydana getirdikleri örtme $c=0.00516 \times 22.6$ olmaktadır. İki tekerleğin geçişi bir uçak geçişine eşit olduğundan, F-4E uçağı için geçiş/örtme oranı $p/c = 1/(0.00516 \times 22.6) = 8.58$ olmaktadır. Bunun anlamı, bu uçağın havaalanı kritik bölgelerinden 8.58 defa geçişinin bir örtme meydana getireceğidir.



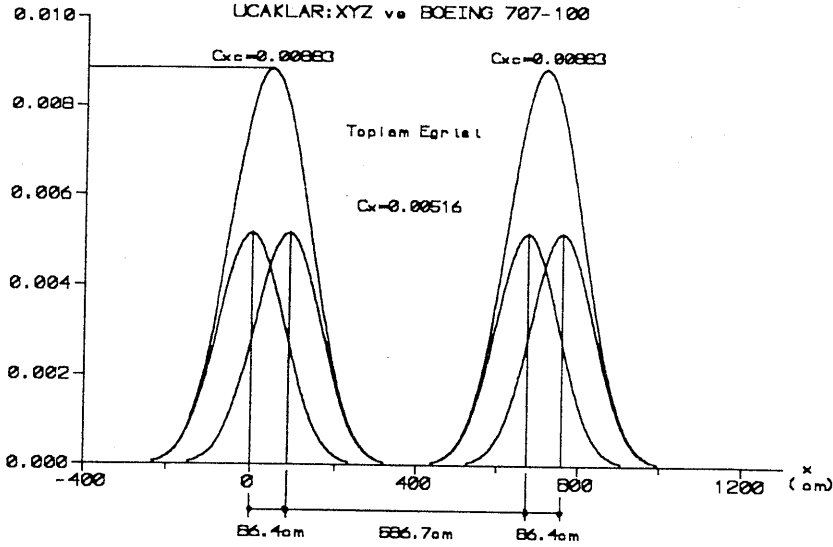
Şekil 2. Tek tekerlekli ana iniş takımları yayılma eğrileri

3.2. Ana İniş Takımları Çift Tekerlekli Uçaklar

XYZ uçağının herbirinde tek dingil üzerinde 86.4cm eksen mesafeli ikişer tekerleği olan iki ana iniş takımı mevcuttur. İniş takımlarının iç tekerlekleri arasındaki eksen mesafesi 586.7cm, lastik genişliği 34.3cm dir. Kritik bölgelerde, bu dört tekerlek ekseninin trafik şeritlerindeki enine yayılma eğrileri Şekil 3 de gösterilmiştir. Her dört eğrinin ordinat hesabında $s=77.30$ cm alınırken, ilk tekerlek için $u=0$, ikincisi için $u=86.4$ cm, üçüncüsü için $u=673.1$ cm ve dördüncüsü için $u=759.5$ cm olarak eğri denklemine konmuştur. Şekilden de görüleceği üzere her dört tekerlek için de maksimum ordinat $Cx=0.00516$ olmakla beraber, ana iniş takımlarındaki ikişer tekerleğin birbirlerinin trafik şeritlerini etkilemesi nedeniyle, her iki iniş takımı için de toplam maksimum ordinat $Cxc=0.00883$ değerine yükselmekte ve kendi trafik şeritlerinde meydana getirdikleri örtme $c=0.00883 \times 34.3$ olmaktadır. İki iniş takımındaki dört tekerleğin geçişi bir uçak geçişine eşit olduğundan, XYZ uçağı için geçiş/örtme oranı $p/c = 1/(0.00883 \times 34.3) = 3.30$ olarak bulunmaktadır.

Toplam maksimum ordinat değeri Cxc , birbirlerini etkileyen eğriler ordinatlarının toplanmasıyla elde edilen toplam eğrisinin maksimum değeridir, hesaplar Lotus 1-2-3 gibi bir programla yapıldığında kolaylıkla elde edilmektedir.

Burada belirtilebilecek önemli bir husus da, örneğimizde 586.7cm olarak verilen mesafenin daha az olması halinde her iki iniş takımının birbirlerini etkilemesi ihtimali ve bunun sonucunda ana iniş takımlarının toplam eğrilerinin ayrıca birleştirilerek yeni bir toplam eğrisi elde edilmesi zaruretidir. Bu takdirde (Cxc) olarak bu son toplam eğrisinden bulunacak maksimum ordinatın kullanılması gerekecektir.



Şekil 3. Çift tekerlekli ve Çift tekerlek\Çift dingilli ana iniş takımları yayılma eğrileri

3.3. Ana İniş Takımları Çift Tekerlek\Çift Dingilli Uçaklar

Boeing 707-100 uçağının, bir evvelki örnekte belirtilen her iniş takımındaki tek dingilde ikişer tekerleğine ilave olarak, her iniş takımındaki ikinci bir dingilde, ötekilerin tam arkasında aynı hizada, ikişer tekerleği daha bulunmaktadır; iki dingil eksenleri arası mesafesi 142.2cm dir. Önceki örnekte verilen eksen mesafeleri ve lastik genişliği tamamen aynıdır. Bu uçağın p/c oranının hesaplanması aynen önceki örnekteki gibi (Şekil 3) yapılacak ve rijit kaplamalar için p/c oranı 3.30 olarak bulunacaktır.

4. SONUÇ

Havaalanı kaplamalarının kalınlık hesabı için kullanılan denklemlerde yer alan parametrelerden birisi "örtme"dir. Bu bildiride rijit (beton) kaplamalar için örtme kavramı tanıtılmakta ve kolayca belirlenebilen uçak geçiş adedinin örtme'ye çevrilmesinde kullanılan geçiş/örtme oranı (p/c oranı) hesabının yapılmasıyla ilgili örnekler verilmektedir.

Geçiş/örtme oranı (p/c)'nin hesabında kullanılan denklem

$$p/c = \frac{1}{Cxc.W} \quad [7]$$

olarak ifade edilmektedir. Burada "Cxc" uçak tekerlek eksenlerinin trafik şeritlerindeki enine yayılma eğrilerinin maksimum ordinatını, "W" lastik genişliğini (cm) göstermektedir.

Bölüm 3'de verilen örneklerin hepsinde kritik bölgeler için p/c oranları hesaplanmıştır. Kaplamaların kritik olmayan bölgeleri için işlemlerde uygulanacak tek fark, standard sapma olarak 154.61cm alınmasıdır. Çeşitli uçaklar için hesaplanmış geçiş/örtme oranları Tablo 1'de verilmiştir.

TABLO 1. Uçakların Geçiş/Örtme Oranları

UÇAK	p/c	UÇAK	p/c	UÇAK	p/c
=====	=====	=====	=====	=====	=====
A310	3.75	B727	2.98	B757	4.04
A320	3.87	B737	3.93	B767	3.74
B707	3.30	B747	3.70	DC9	3.64

5. KAYNAKLAR

- 1 -Department of the Army. Rigid Pavements for Airfields. TM5-825-3. Washington, DC, USA, 1988.
- 2 -Federal Aviation Administration. Airport Pavement Design and Evaluation. A.C.150/5320-6C. Washington, DC, USA, 1988.
- 3 -Güçbilmez, E. Mechanistic Evaluation of Rigid Airport Pavements. PhD Thesis, METU, Ankara, 1992.
- 4 -Westergaard, H.M. "New Formulas for Stresses in Concrete Pavements of Airfields", American Society of Civil Engineers Transactions, Volume 113. N.Y. USA, 1948.
- 5 -Güçbilmez, E. 1993. "Computer Programme to Calculate Tensile Stresses in Rigid Airport Pavement Slabs", İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler 1. Teknik Kongresi, Cilt 2, sf.1016-1022, Gazimağusa, KKTC, 1993.
- 6 -Brown, D.N. ve Thompson, O.O. Lateral Distribution of Aircraft Traffic. US Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., USA, 1973.
- 7 -Ledbetter, R.H. Pavement Response to Aircraft Dynamic Loads; Compendium. TR S-75-11, Volume III, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, CE, Vicksburg, Mississippi, USA, 1976.
- 8 -Lotus Development Corporation. Lotus 1-2-3, Release 2.01. USA, 1986.
- 9 -Golden Software Incorporated. Grapher, Version 1.76. USA, 1988.