

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVAALANI ÜSTYAPI TASARIM YÖNTEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Fatih OKUR

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2008

HAVAALANI ÜSTYAPI TASARIM YÖNTEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Fatih OKUR
(501061407)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2008

Tez Danışmanı : Öğr.Gör.Dr. A. Faik İYİNAM
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Emine AĞAR (İ.T.Ü.)
Öğr.Gör.Dr. Mustafa Sinan YARDIM (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Hızla değişen ve gelişen dünyada zaman en değerli kaynak haline gelmiştir. İnsanlar artık zamanı iyi kullanmanın yollarını aramaya başlamış ve bu arayışta en kazançlı ve ekonomik yolun ulaşımdan geçtiğini anlamışlardır. Ulaşımda her türlü yolu deneyip uygulamışlar, en hızlı, konforlu, güvenli ve kaliteli olana erişmeye çalışmışlar ve sonunda da hava ulaşımının bu istenen niteliklere sahip benzersiz bir ulaşım türü olduğunu anlamışlardır.

Bu yönüyle hava ulaşımı, diğer ulaşım türlerine göre daha hızlı olması ve zamandan tasarruf sağlaması açısından eşsiz bir ulaşım sınıfı olarak her geçen yıl daha da gelişmeye devam etmektedir. Bu gelişim sadece havaalanı kapasitesi, hava trafiği, uçak endüstrisi ve işletmelerle sınırlı kalmayıp; havaalanı saha geometrisi, kaplamalı saha özellikleri ve kullanılan kaplama malzemeleri yönünden de devam etmektedir. Hava ulaşımındaki gelişmeyle birlikte, havaalanı üstyapıları ve tasarımı konusu da büyük önem kazanmıştır.

Tez çalışmamda bana her türlü açıklama, izahat ve yorumu cömertçe anlatan ve hiçbir bilgiyi esirgmeden açıklayan, **Ulaştırma Bakanlığı DLH İnşaatı Genel Müdürlüğü Havameydanları Etüd Proje Daire Başkanlığı ve Araştırma Daire Başkanlığı'ndaki bütün ağabeylerime**, tüm bilgi birikimini ve yılların deneyimini mesleki tecrübelerinden aktararak eksiksiz bir şekilde bana baştan sona anlatan, tüm bilgilerini bana armağan eden ve bu çalışmada bana rehberlik ederek yol gösteren ve elimden tutan, Bursa Ulaştırma Bölge Müdürlüğü DLH İnşaatı Müdürü - Eski DLH İzmir Bölge Müdürlüğü Havameydanları İnşaatı Kontrol Amiri saygıdeğer müdürüm **Mimar Abdulvahap KÖSE'ye**, tez çalışmamın her safhasında ilgi ve güler yüzünü esirgemeyen, bilgi birikimi ve tecrübesiyle beni yönlendiren ve bana gösterdiği sevgi, şefkat ve sevecenlik ile hiçbir zaman aklımdan çıkmayacak olan saygıdeğer danışman hocam **Öğr. Gör. Dr. Faik İYİNAM'a** ve beni okutup bugünlere getiren, eğitimim için her türlü fedakarlığı gösteren ve bana hayatım boyunca her zaman yardım eden **anne ve babama** teşekkürlerimi ve minnettarlığımı büyük bir borç bilerek ve önlerinde saygı ile eğilerek, ettikleri yardımları ve iyilikleri hiçbir zaman unutmayıp sonsuza dek kalbimde yer edeceğim.

Haziran 2008

Fatih OKUR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. TANIMLAR	3
2.1. Uçak Ağırlıkları	6
2.2. Uçak İniş Takımı Tipleri	7
3. LCN METODU	9
4. ACN / PCN METODU	15
4.1 Taban Zemini Taşıma Gücü Kategorisi	16
4.2 Lastik Basıncı	16
4.3 Eşdeğer Tek Tekerlek Yüğü	17
4.4 Uçak Sınıflandırma Numarası (ACN)	17
4.5 Esnek Üstyapı Tasarım Örneği	18
4.6 Rijit Üstyapı Tasarım Örneği	21
4.7 PCN Değerleri	24
5. F.A.A. METODU	25
5.1. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi	26
5.2. Donma ve Buzlanma	28
5.3. Taban Zemini Taşıma Gücü Testleri	29
5.3.1. Kaliforniya Taşıma Gücü Oranı (CBR)	29
5.3.2. Plaka Yükleme Testi	30
5.3.3. Stabilizasyon	31
5.4. F.A.A. Üstyapı Tasarımı	34
5.5. Tahmini Yıllık Trafiğin Bulunması	35
5.5.1. Toplam Eşdeğer Yıllık Kalkış Miktarı Tahmini Örneği	35
5.6. Esnek Üstyapı Tasarım Örneği	38
5.7. Rijit Üstyapı Tasarım Örneği	41
6. DİNAMİK METOTLAR	45
6.1. (NDT) Yıkıcı Olmayan Değerlendirme Metodu	50
6.2. Uygulamalar	50
6.3. Havaalanı Üstyapı Test Makinesi	55

6.4. Temel Test ve Deneyler	57
6.5. Şekil ve Sembolleme	58
7. CORPS OF ENGINEERS	64
7.1. Üstyapı Ağının Belirlenmesi	64
7.2. PCI	65
7.3. Yabancı Nesne Hasarı Potansiyeli (FOD)	68
7.4. Yapısal İndeks (ACN / PCN)	70
7.5. Kaplama Yüzeysel Sürtünme İndeksi	73
7.6. Değerlendirme	74
8. HELİPORT ÜSTYAPI TASARIMI	76
9. GENEL DEĞERLENDİRME	78
10. TÜRKİYE’DEKİ HAVAALANLARI	81
11. SONUÇLAR	84
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	87

KISALTMALAR

ACN	: Aircraft Classification Number
PCN	: Pavement Classification Number
LCN	: Load Classification Number
FAA	: Federal Aviation Administration
DLH	: Demiryolları Limanlar Havameydanları
CBR	: California Bearing Ratio
DSWL	: Design Single Wheel Load
FWD	: Falling Weight Deflectometer
NDT	: Non Destructive Testing
WES	: Waterways Experiment Station
DSM	: Dinamic Solid Modulus
PCI	: Pavement Classification Index
FOD	: Foreign Object Damage
RCR	: Runway Condition Rating
JBİ	: James Brake Index
ICAO	: International Civil Aviation Organization
IMAG	: Interagency Modeling and Analysis Group
DHİM	: Devlet Hava Meydanları İşletmeleri

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	Kaplama tipi ve kalınlığına etki eden ana etkenler ve değişkenler 5
Tablo 3.1	(ℓ) Rölatif Rijitlik Yarıçapının (k) ve (d)' ye bağlı değerleri 14
Tablo 4.1	Zemin Taşıma Gücü Kategorisi 16
Tablo 4.2	Lastik İç Basıncı Limitleri 17
Tablo 5.1	F.A.A Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırılması ve Özellikleri 27
Tablo 5.2	Stabilize Temel İçin Eşdeğerlilik Faktörü Aralığı 31
Tablo 5.3	Stabilize Alt Temel İçin Eşdeğerlilik Faktörü 32
Tablo 5.4	Uçak Tipleri ve Trafik Özellikleri 36
Tablo 5.5	İniş Takımları için Dönüşüm Katsayıları 36
Tablo 5.6	Toplam Eşdeğer Yıllık Kalkış Miktarlarının Bulunuşu..... 37
Tablo 6.1	Numuneler Üzerinde Uygulanan Temel Deneyler..... 58
Tablo 7.1	Üstyapı Bozulma Çeşitleri 66
Tablo 7.2	(FOD) İndeksinin İçeriğinde Yer alan Üstyapı Bozulmaları 69
Tablo 7.3	C-17 ve B-727 Uçaklarının Uçak Ağırlık Grup İndeksindeki Yeri 72
Tablo 7.4	Kullanılan Ekipmana Göre Kaplama Yüzeysel Sürtünme Sınıflandırması..... 73
Tablo 7.5	İndekslerin Değer Aralıklarına Göre Değerlendirilmesi 74
Tablo 7.6	Genel Değerlendirme Örneği 75
Tablo 10.1	DHMİ Tarafından İşletilen Havalimanı ve Meydanların Pist Özellikleri 82
Tablo 10.2	DHMİ Tarafından İşletilen Havalimanı ve Meydanların Apron ve Taksirut Durumu 83

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Esnek ve Rijit Üstyapı Teorik Gösterimi.....	3
Şekil 2.2 : Kompozit Üstyapı Teorik Gösterimi.....	4
Şekil 2.3 : Havaalanı Üstyapı Bölümlerinin Şematik Gösterimi.....	4
Şekil 2.4 : Pist Sonu Emniyet ve Aşma Sahası.....	5
Şekil 2.5 : Teorik Uçak İniş Takımı Ağırlık Yüzdeleri.....	6
Şekil 2.6 : Çeşitli Uçak Tipleri ve Ağırlıkları.....	7
Şekil 2.7 : Çeşitli Uçak Tipleri İçin İniş Takımı Düzenleri.....	8
Şekil 3.1 : Değişkenlere Göre LCN Eğrileri.....	9
Şekil 3.2 : Plaka Yükleme Testi Deney Aleti.....	10
Şekil 3.3 : LCN Değerlerine Göre Esnek Üstyapı Kalınlık Tayini.....	11
Şekil 3.4 : LCN Değerlerine Göre Rölatif Rijitlik Yarıçapının Belirlenmesi	13
Şekil 4.1 : ACN Değerlerinin Belirlenmesi İçin İzlenecek Adımlar.....	15
Şekil 4.2 : Çeşitli İniş Takımı Düzenlerinden Örnekler.....	17
Şekil 4.3 : DC – 10 – 10 İçin Esnek Üstyapı Tabaka Kalınlığının Bulunuşu	19
Şekil 4.4 : DC 10 – 10 Uçağı için Esnek Üstyapıda ACN Değerinin Bulunuşu.....	20
Şekil 4.5 : B 727 – 200 Uçağı İçin ACN Değerinin Bulunuşu.....	21
Şekil 4.6 : B 727 – 200 Uçağı İçin Kalınlık Hesabı.....	22
Şekil 4.7 : B 727 – 200 Uçağı İçin Rijit Üstyapı Beton Tabaka Kalınlığının Bulunuşu.....	23
Şekil 4.8 : Plaka Yükleme Testi Deney Aleti.....	24
Şekil 5.1 : Esnek ve Rijit Üstyapıda Buzlanmaya Karşı Koruma Tabakaları	29
Şekil 5.2 : CBR Test Aleti.....	30
Şekil 5.3 : Çimento Stabilizasyonu Örneği	33
Şekil 5.4 : Esnek Üstyapıda CBR Eğrilerine Göre Temel – Üstyapı Kalınlık Tayini.....	34
Şekil 5.5 : Rijit Üstyapıda Beton Plak Kenarlarında Yükleme ve Derz Planı Örneği.....	35
Şekil 5.6 : Toplam Esnek Üstyapı Kalınlığının Bulunuşu.....	39
Şekil 5.7 : Toplam Temel Kalınlığının Bulunuşu.....	40
Şekil 5.8 : Rijit Üstyapıda Beton Tabaka Kalınlık Tayini.....	41
Şekil 5.9 : Temel Tabakası Kalınlık Saptama.....	43
Şekil 5.10 : Alt Temel Tabakası Kalınlık Saptama.....	44
Şekil 6.1 : Dynatest FWD de sensörler.....	45
Şekil 6.2 : Sismik Üstyapı Analiz Cihazı ve FWD.....	46
Şekil 6.3 : Rijit ve Esnek Üstyapıda Yük Dağılımı.....	46
Şekil 6.4 : Tabakalı Elastik Sistem.....	47
Şekil 6.5 : Çok Tabakalı Elastik Sistem Tasarımında Kullanılan Bir Yazılım.....	48
Şekil 6.6 : Esnek Üstyapıda Kritik Bölgeler.....	48
Şekil 6.7 : Rijit Üstyapıda Yükleme - Deformasyon Hesabının Yazılım ile Ölçümü.....	49
Şekil 6.8 : CBR Değerleri ile K Taban Zemini Modülü Arasındaki İlişki.....	49

Şekil 6.9	: Rijit ve Esnek Üstyapıda Kullanılan NDT Cihazları.....	51
Şekil 6.10	: Falling Weight Deflectometer.....	51
Şekil 6.11	: Shell Asfalt Enstitüsünün Esnek Üstyapı Tasarımında Kullandığı Yazılım.....	52
Şekil 6.12	: Yük – Aşınma İlişkisi.....	53
Şekil 6.13	: Esnek Kaplama Sıcaklık Ölçüm Sensörleri	53
Şekil 6.14	: Esnek Kaplamada Sıcaklık Değişimi.....	54
Şekil 6.15	: Havaalanı Üstyapı Test Makinesi	55
Şekil 6.16	: Havaalanı Üstyapı Test Makinesinde İniş Takımı Düzenleri.....	56
Şekil 6.17	: Havaalanı Üstyapı Test Makinesinin Test Ettiği Karışık Üstyapı Tip Enkesitlerinden Oluşan Bir Üstyapı Modeli.....	56
Şekil 6.18	: Asfalt ve Beton Numunelere Uygulanan Örnek Testler	57
Şekil 6.19	: Karakteristik Malzeme Özellikleri Deney Aletlerinden Örnekler	57
Şekil 6.20	: Çeşitli Üstyapı Tiplerinin Şematik Görünümleri	59
Şekil 6.21	: Esnek Üstyapıda Değişik Tip Enkesit Tasarımı Örnekleri	60
Şekil 6.22	: Bilgisayar Programı ile Değişik Tip Enkesit Tasarımı	61
Şekil 6.23	: Rijit Üstyapıda Bozulmaların Sembolize Edilmiş Görünümü	62
Şekil 6.24	: Rijit Üstyapıda Bozulmaların Sembolik Harita Biçimi Örneği ...	63
Şekil 7.1	: Havaalanı Üstyapı Ağının Bölgelere Ayrılması	65
Şekil 7.2	: Standart ve Sıradan PCI Derecelendirme Ölçekleri	65
Şekil 7.3	: MicroPAVER de Geleneksel ve Standart PCI Derecelendirmesi	67
Şekil 7.4	: Havaalanı Üstyapı Bozulmalarından Görünüm.....	67
Şekil 7.5	: Hafif Savaş Uçaklarının Kalkış Durumlarının Pist Kaplamlarına Etkisi.....	68
Şekil 7.6	: (FOD) İndeksi ve Üstyapıya Olan Uçak Etkisi ile İlişkilendirilmesi	69
Şekil 7.7	: Askeri Havaalanlarında Rijit ve Esnek Kaplama.....	70
Şekil 7.8	: PCASE Programında ACN Hesabı	71
Şekil 7.9	: C – 17 ve Boeing – 727 Tasarım Uçakları	72
Şekil 7.10	: Yüzeysel Sürtünme Ölçüm Aygıtları.....	73
Şekil 7.11	: Havaalanı Kaplamalı Saha Genel Değerlendirme Örneği	75
Şekil 8.1	: Esnek Üstyapılı ve Rijit Üstyapılı Heliportlar	76
Şekil 8.2	: Esnek ve Rijit Heliport Kaplamaları	76
Şekil 10.1	: DHMİ Tarafından İşletilen Havalimanı ve Meydanlar.....	81

SEMBOL LİSTESİ

A_1, A_2	: Uçak İniş Takımı Ağırlık Yüzdeleri
ℓ	: Rölatif Rijitlik Yarıçapı
E	: Young modülü
k	: Taban Zemini Modülü
d	: Beton Tabaka Kalınlığı
μ	: Poisson Oranı
t	: Referans Kalınlık
P_s	: 1.25 Mpa Standart Lastik Basıncı
C_1, C_2	: Test Sonucu Bulunan Sabitler
R_1	: Tasarım uçağının eşdeğer yıllık kalkış sayısı
R_2	: Tasarım uçağına dönüştürülecek uçağın yıllık kalkış sayısı
W_1	: Tasarım uçağının tekerlek yükü
W_2	: Tasarım uçağına dönüştürülecek uçağın teker yükü
K	: Stabilize Temel Malzemesi Taşıma Gücü
M_r	: Reziliyans Modülü
E	: Elastisite Modülü
h	: Tabaka Kalınlığı

HAVAALANI ÜSTYAPI TASARIM YÖNTEMLERİ

ÖZET

Havaalanı Üstyapı Tasarım Yöntemlerinin incelendiği bu çalışmanın amacı; havaalanlarında üstyapı kullanımının genel olarak değerlendirilmesi, üstyapı tasarımında kullanılan yöntemlerin incelenerek; bu yöntemlerin çalışma şekilleri ve kullanılan parametreler ile yöntemlerin birbirlerine göre farklılıklarının, eksik ve üstün olan yönlerinin ortaya konulmasıdır. Ayrıca çalışmada, havaalanlarının PAT (Pist – Apron – Taksirut) sahasında kullanılan üstyapı tipleri, tabaka kalınlıklarının belirlenmesi ve kullanılan malzemelerin özellikleri hakkında bilgiler de verilmiştir.

1. bölümde havaalanlarının yapımlarının tarihçesi ve gelişimine, havaalanı üstyapı tasarımı konusunda kullanılan yöntemlerin isimleri ve ampirik ve analitik yöntemler olmak üzere 2 grup adı altında sıralanışı ve tasarım yöntemlerinden ülkemizde kullanılanları ve bu tez çalışmasında incelenen tasarım yöntemlerine,
2. bölümde havaalanı üstyapıları, tipleri ve üstyapı tipine etki eden parametreler, havaalanı üstyapı bölgelerinin özellikleri ve uçakların karakteristik özelliklerine,
3. bölümde LCN Yöntemi ve yönteme göre üstyapı kalınlık tayini,
4. bölümde ACN / PCN Yöntemi, yöntemin çalışma şekli, yöntemde ele alınan parametreler ve yöntemin kullanılması ile elde edilen üstyapı tasarım örneklerine,
5. bölümde F.A.A. Yöntemine, yöntemde ele alınan zemin sınıflandırma sistemi, don ve buzlanma etkisine karşılık kullanılacak yöntemlere, taban zemini taşıma gücü testlerine ve stabilizasyon konusuna, yöntemde diğer yöntemlerden ayırıcı özellik teşkil eden toplam tahmini eşdeğer yıllık kalkış miktarının bulunmasına ait hesaplara, üstyapı tasarım örneklerine,
6. bölümde Dinamik Yöntemler ile üstyapı tasarımına, tasarımda kullanılan cihaz ve aygıtların temel ve karakteristik özelliklerine, üstyapı modellemelerinde yararlanılan parametrelere ve ilgili donanım, teçhizat ve yazılımlara, üstyapı numunelerine uygulanan temel deneylere ve üstyapı modellemelerinde kullanılan bilgisayar programlarına yardımcı yöntemlere,
7. bölümde Corps of Engineers mevcut üstyapı durum değerlendirme ve tasarım yöntemine, yöntemin bünyesinde yer alan sistemlere ve bu sistemlerin çalışma şekillerine, sistemlerde ele alınan parametrelere, ilgili bilgisayar programlarına, kullanılan aygıt ve cihazlara ve bu sistemlerin birlikte kullanılarak elde edilen veriler ile oluşturulan genel değerlendirme örneğine,
8. bölümde Heliport üstyapı tasarımı ile ilgili bilgilere,
9. bölümde Türkiye'deki Havaalanlarına, havaalanlarımızın genel bilgilerine ve kullanılan üst yapı tiplerine ve mevcut durumlarına ve son bölümde bu çalışmada incelen tasarım yöntemlerinin, her yöntemin ayrı şekilde ele alınarak genel değerlendirilmesine ve ülkemiz için analitik yöntemlere geçişin önemi hakkında açıklamalara ve bilgilere yer verilmiştir.

AIRPORT PAVEMENT DESIGN METHODS

SUMMARY

The aim of this study that the airport pavement design methods were examined is evaluating the using of the pavement in the airports in general, by examining the methods that are used in the designing of pavement, to putting forward the working procedures of this methods and with the parameters that are used and the differences according to each other, the deficiency and superior features. Besides, in the study, the knowledge were given about the pavement types that are used in the RAT (Runway – Apron – Taxiway) areas on the airports, the determining of the layer thickness' and the materials that are used in the pavements.

In the first chapter, the explanations and knowledge were given about the short history of the construction of airports and their developments, the names of the using methods about the airport pavement designing and their arranging in order as two groups of empirical and analytical methods and the designing methods that are using in Turkey and the design methods that are examined in this thesis,

In the second chapter, the airport pavements, pavement types and the parameters that effects to pavement type, the features of the airport pavement areas and characteristic features of the aircrafts,

In chapter three, LCN method and the determination of the pavement thickness according to the LCN method,

In chapter four, ACN / PCN method, the working diagram of the method, the parameters that are dealed in the method and pavement design examples that were obtained by using the method,

In chapter five, F.A.A. method, the soil classification system that is dealed with the method, the methods will be used against to frost and freezing, soil bearing capacity tests and stabilization, the calculations are belonging to the finding the total approximate equivalent annual departure number that is the separator feature in the method according to the other methods and the examples of the pavement designing,

In chapter six, pavement designing with dynamic methods, the characteristic and basic features of the apparatus and equipments that are used in design, the parameters that are benefited from the modeling the pavement and connected with device and equipments, the basic experiments that are applied to pavement samples and the helper methods to the computer programs that are used in the pavement modeling,

In chapter seven, Corps of Engineers the present pavement condition evaluation method, the systems that are taken part of the method's constitution and the working procedures of these frameworks, the parameters that are taken up in the systems, the related software, the apparatus and devices that are used, the general evaluation sampling that is formed with the data that are obtained by using this frameworks together,

In chapter eight, the information about the heliport pavement design, In chapter nine, the general knowledge about the airports in Turkey and the pavement types that are used and their present condition and in the last chapter, the general evaluation of the design methods by every method taken up separately that are examined in this study and the explanation and information were given about importance of passing to analytical methods in Turkey.

1. GİRİŞ

1. Dünya Savaşı sonrasında havacılık ve uçakların savaştaki değerlerinin anlaşılmasıyla birlikte, havaalanı yapımı ve üstyapı tasarımı konusundaki çalışmalar başlamış, 2. Dünya Savaşı sonrasında ise başta A.B.D. olmak üzere diğer birçok ülkede yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda havaalanı üstyapı tasarım çalışmalarında büyük ilerlemeler sağlanmıştır.

İlk olarak 1. Dünya Savaşında sonra savaş uçaklarının havaalanı pistlerine iniş ve kalkışlarını emniyetli ve güvenli bir şekilde yapabilmeleri amacı ile pistlerin ve diğer toprak sahaların kaplamalı sahalara dönüştürülmesinin önemi anlaşılmıştır. Bunu takiben yol üstyapılarının havaalanlarında kullanılması hakkında bir dizi inceleme ve çalışma gerçekleştirilip, laboratuvarlarda çeşitli deneyler ve testler yapıldı. Uçakların ağırlığı, iniş takımları ve düzenleri gibi birçok karakteristik özellik ele alındı ve üzerinde çalışıldı. Hava koşulları, zemin durumu, rüzgar ve çevresel şartlar gibi etkenler göz önünde bulundurularak çeşitli grafikler ve abaklar elde edildi ve bunlar tablolara işlendi. Veriler sayesinde tasarım eğrileri çizildi ve havaalanları için üstyapı tasarım grafikleri oluşturuldu. Daha sonra üstyapı bölgelerinin inşasında kullanılan malzemeler üzerinde çalışıldı. Karayollarında kullanılan beton ve bitümlü sıcak karışım tabakaları üzerinde ciddi çalışmalar yapıldı. Temel ve alttemel tabakaları üzerinde duruldu ve taban zemini taşıma gücü hesapları ile birlikte temel ve alttemel tabakalarında kullanılacak malzemelerin seçimi için ve hava koşullarını da bu hesaba katarak titiz bir şekilde çalışılarak birçok tasarım gerçekleştirildi.

Bunu takiben 2. Dünya Savaşının çıkmasıyla, havaalanı üstyapı uygulamaları ile başarılı sonuçlar alındı ve havaalanı üstyapı tasarımının önemi çok daha iyi anlaşılmış oldu. 2. Dünya Savaşından sonra üstyapıda kullanılan malzemelerin oluşturduğu endüstri, uçak endüstrisi kadar gelişmedi ama daha sonra Havayolu Taşımacılığı ve Havayolu Ulaşımı ile birlikte yolcu ve kargo taşımacılığının gelişmesi ve gelişen uçak endüstrisinde artan değişik uçak tipleri, ağırlıkları ve

değişen iniş takımları düzeni, havaalanı üstyapı tasarımının ve çeşitli yöntemlerin gelişip günümüze kadar gelmesine olanak verdi [1].

Havaalanı üstyapı tasarım yöntemleri ampirik ve analitik yöntemler adı altında 2 bölümde incelenir. Havaalanı üstyapı tasarımında kullanılan ampirik yöntemler tecrübeye ve deneysel sonuçlara dayanan; tablolar, abaklar ve grafikler yardımı ile üstyapı kalınlığının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerdir. Analitik yöntemler ise üstyapıda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri, tahmini trafik yükü ve çevre koşulları dikkate alınarak test cihazları ve bilgisayar programları yardımıyla tabaka kalınlıklarının belirlendiği gelişmiş yöntemlerdir.

Bilinen en eski tasarım yöntemleri, Corps of Engineers (CBR) Yöntemi, Portland Cement Association (PCA) Yöntemi, Canadian Department of Transportation (CDOT) Yöntemi, Federal Aviation Administration (F.A.A.) Yöntemi ve Shell Asfalt Enstitüsü yöntemidir. Bu yöntemlerden sonra LCN Yöntemi ve ACN/PCN Yöntemi havaalanı üstyapı tasarımında kullanılan yöntemler arasında yerlerini aldılar.

Ülkemizde de tasarım yöntemleri olarak LCN, ACN/PCN ve F.A.A. Yöntemleri; Ulaştırma Bakanlığı DLH İnşaatı Genel Müdürlüğü Havameydanları Daire Başkanlığı ve NATO Enformasyon İnşaat Emlak Dairesi Başkanlığı tarafından kullanılmaktadır.

Bu çalışmada ampirik yöntemlerden; LCN yöntemi, ACN / PCN yöntemi ve F.A.A. yöntemine ve analitik yöntemlerden; Dinamik Yöntemler ve Corps of Engineers mevcut üstyapı durum değerlendirme ve derecelendirme yöntemine yer verilmiştir.

2. TANIMLAR

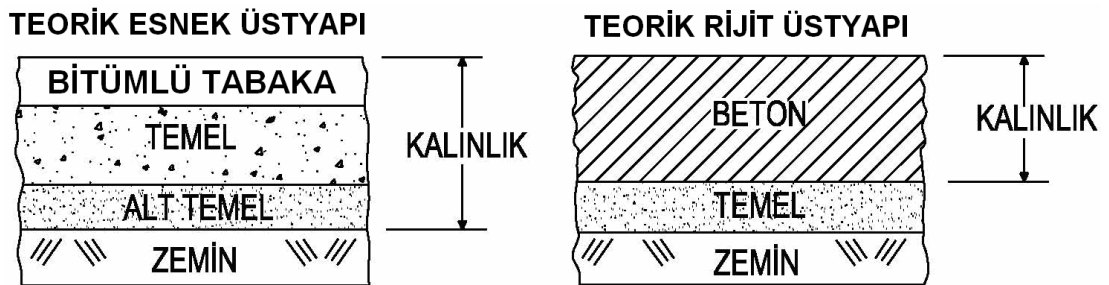
Havaalanı üstyapıları; uçak yüklerini taşıyan, tabii veya iyileştirilmiş zemin üzerindeki tüm tabakaları kapsayan alanlardır. Bu bölgeler genel olarak üstyapı bölgeleri şeklinde anılmaktadır. Üstyapı yüzey tabakası, düzgün ve her hava koşulunda güvenli sürüşü sağlayacak şekilde olmalıdır. Her tabakanın kalınlığı; aynı tabakada veya farklı tabakalarda, uygulanan yüklerden bozulmaya sebebiyet vermeyecek şekilde yeterli kalınlıkta olmalıdır.

Havaalanı üstyapıları; karayolu üstyapılarında olduğu gibi yapımında kullanılan yöntem ve malzemelere göre; rijit, esnek ve kompozit üstyapı olmak üzere sınıflandırılmaktadır.

Rijit üstyapı, beton veya betonarme plaklardan oluşur. Yapısal ana elemanlar beton plak, temel tabakası ve sıkıştırılmış zemindir.

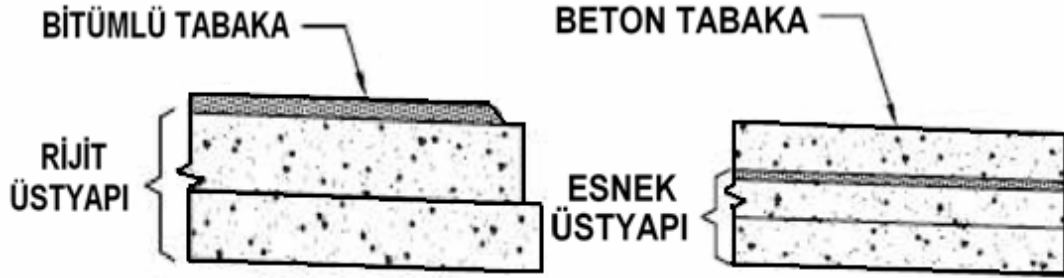
Esnek üstyapı ise, yük uygulandığında elastik davranış altında esneklik sergileyebilen ve küçük ölçekli deformasyonlara olanak sağlayan üstyapıdır. Yapısal elemanları; bitümlü sıcak karışım yüzey tabakası, temel tabakası, alttemel tabakası ve sıkıştırılmış zemindir.

Burada havaalanlarında kullanılan esnek üstyapı için önemli bir noktayı vurgulamak gerekir. Havaalanlarındaki esnek üstyapılar karayollarındaki esnek üstyapılardan çok daha büyük yüklere maruz kalmaktadırlar. Ayrıca, bitümlü sıcak karışım oranları da farklılık göstermektedir. Bu nedenle, karayollarında kullanılan asfalt betonunun havaalanlarında kullanılması düşüncesi temel mühendislik hatası olarak nitelendirilir.



Şekil 2.1: Esnek ve Rijit Üstyapı Teorik Gösterimi

Kompozit üstyapı ise, zamanla bozulmuş beton plakların üzerine bitümlü sıcak karışım serilmesiyle veya bozulmuş bitümlü karışım tabakası üzerine beton plakların inşa edilmesiyle oluşan üstyapıdır.



Şekil 2.2: Kompozit Üstyapı Teorik Gösterimi

Havaalanı üstyapıları pist, apron ve taksiyolları olmak üzere 3 kısımda incelenir.

Pist; uçakların kalkış ve inişleri için hazırlanmış havaalanı üstyapı bölgesi üzerindeki belirlenmiş dikdörtgen bölgedir.

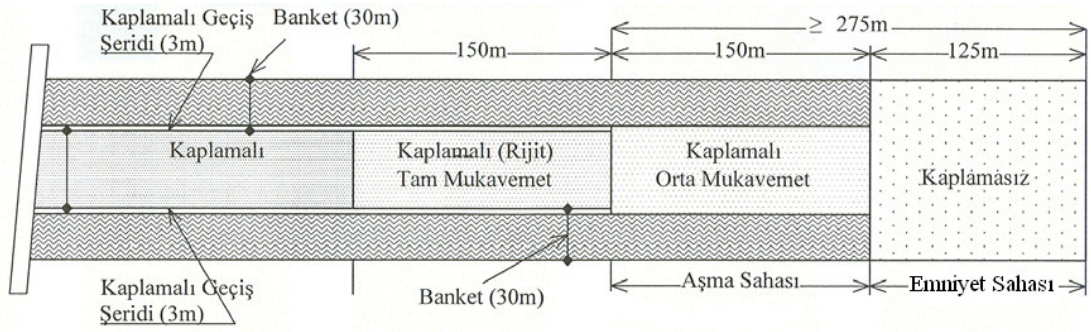
Apron; uçakların park etme, yolcu ve yük indirip bindirme, yakıt alma, bakım gibi amaçlarla durması için belirlenmiş bölgedir.

Taksiyolu; uçakların geçiş yapmaları için hazırlanmış ve havaalanının bir yeri ile diğer bir yeri arasında bağlantı sağlayabilme amacıyla belirlenmiş yoldur [14].



Şekil 2.3: Havaalanı Üstyapı Bölgelerinin Şematik Gösterimi

Bunun dışında pilot hataları, hava şartları, uçak mekanik sorunları veya buna benzer sebeplerden dolayı zamanında duramayan bir uçağın zarar görme riskini azaltmak maksadıyla pist sonuna yapılmış; **emniyet ve aşma bölgeleri** diye adlandırılan bölümlerde üstyapı bölümleri adı altında yer alır [17].



Şekil 2.4: Pist Sonu Emniyet ve Aşma Bölgeleri

Uçuş hattındaki üstyapı bölgelerini oluşturan pist, apron ve taksiyolu (PAT) bölgelerinin ve diğer yer hizmetlerinin verildiği bölgelerin üstyapılarının rijit, esnek ve kompozit olarak tasarımı ve üstyapı tayini, karayolu üstyapısı tasarımında olduğu gibi karmaşık bir mühendislik problemidir.

Havaalanı üstyapıları çok farklı yükler ve çok değişken iklim ve çevre koşullarına maruz kalmaktadır. Üstyapı tipi ve kalınlığına etki eden etkenler genel olarak Tablo.1’de verilmiştir. Bu etkenlerin birçoğunun niceliği tespit edilememektedir [21].

Tablo 2.1: Üstyapı tipi ve kalınlığına etki eden ana etkenler ve değişkenler

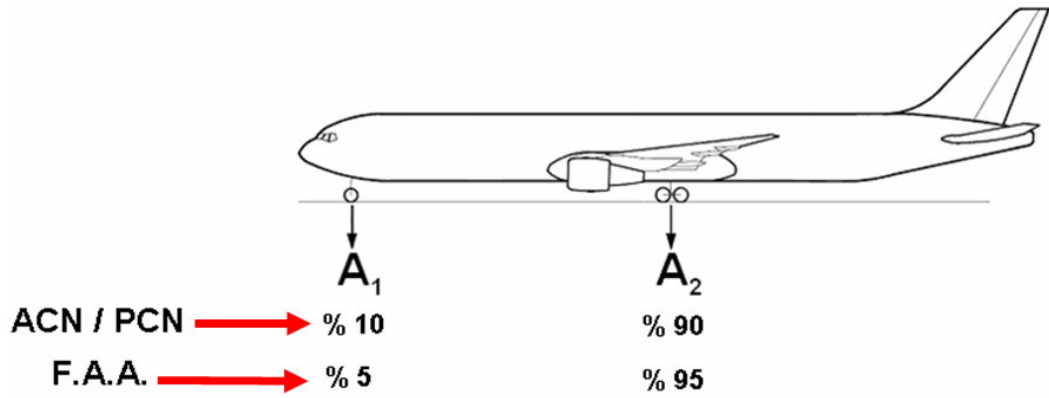
ANA ETKENLER	DEĞİŞKENLER
TRAFİK ve YÜK	Mevcut trafik hacmi, tahmini gelecek trafik hacmi, trafiğin dağılımı, teker yükü, teker düzeni, lastik basıncı, temas alanı, yük tekrar sayısı, yükün tatbik süresi
İKLİM ve ÇEVRE	Isı değişimleri, yağış miktarı, don derinliği, drenaj şartları, zemin özellikleri, donma-çözülme, konsolidasyon
MALZEME	Malzeme özellikleri (asfalt, beton, agrega ve içerdikleri malzemeler), tabakaların yük dağıtma ve mukavemet gibi mekanik özellikleri
YAPIM ve BAKIM	Üstyapı tayini, tabaka kalınlığı, tabaka cinsi, yapım kalitesi ve kalite kontrol seviyesi, periyodik ve duruma dayalı bakım hizmetlerinin yapılması

Havaalanlarında üstyapılarında kısımların her biri için farklı gereksinimler ve dikkate alınması gereken hususlar bulunmaktadır.

Pist; kaymaya karşı direnç, iyi frenleme için iyi drenaj, uçaklarda bulunan hassas elektronik cihazların zarar görmemesi ve yolcu konforu için satıh düzgünlüğü gibi özelliklere sahip olması gerekirken aynı zamanda uçakların tekerlek yüklerine karşı dayanıklı olmalıdır.

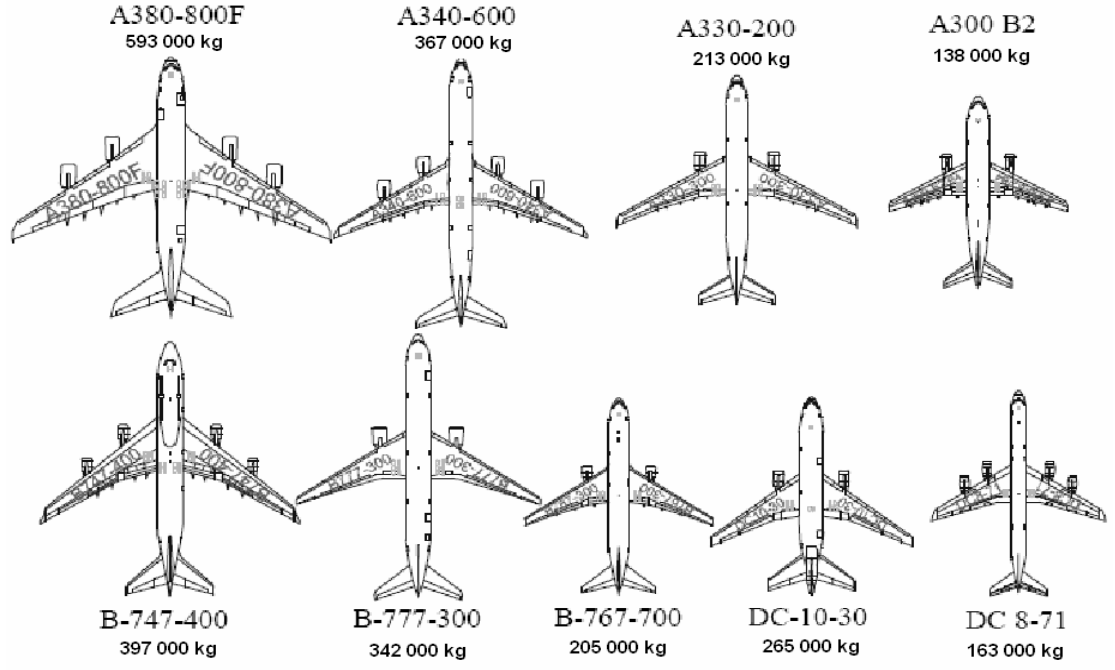
2.1 Uçak Ağırlıkları

Trafiğin daha yavaş seyrettiği, statik ve dinamik yüklerin etkilerinin daha fazla hissedildiği uçak park alanlarında (hangar) ve **apronlardaki** ana gereksinim ise yüksek tekerlek yüklerinin emniyetli bir şekilde taşınabilmesidir. Yakıt ikmal ve bakım alanları gibi bölgelerde ise üstyapı; tekerlek yüklerine ve bakım araçlarının noktasal yüklerine karşı yeterli dayanımda ve dökülebilecek kimyasallara, yağ ve yakıt sızıntılarına karşı dirençli olmalıdır.



Şekil 2.5 Teorik Uçak İniş Takımı Ağırlık Yüzdeleri

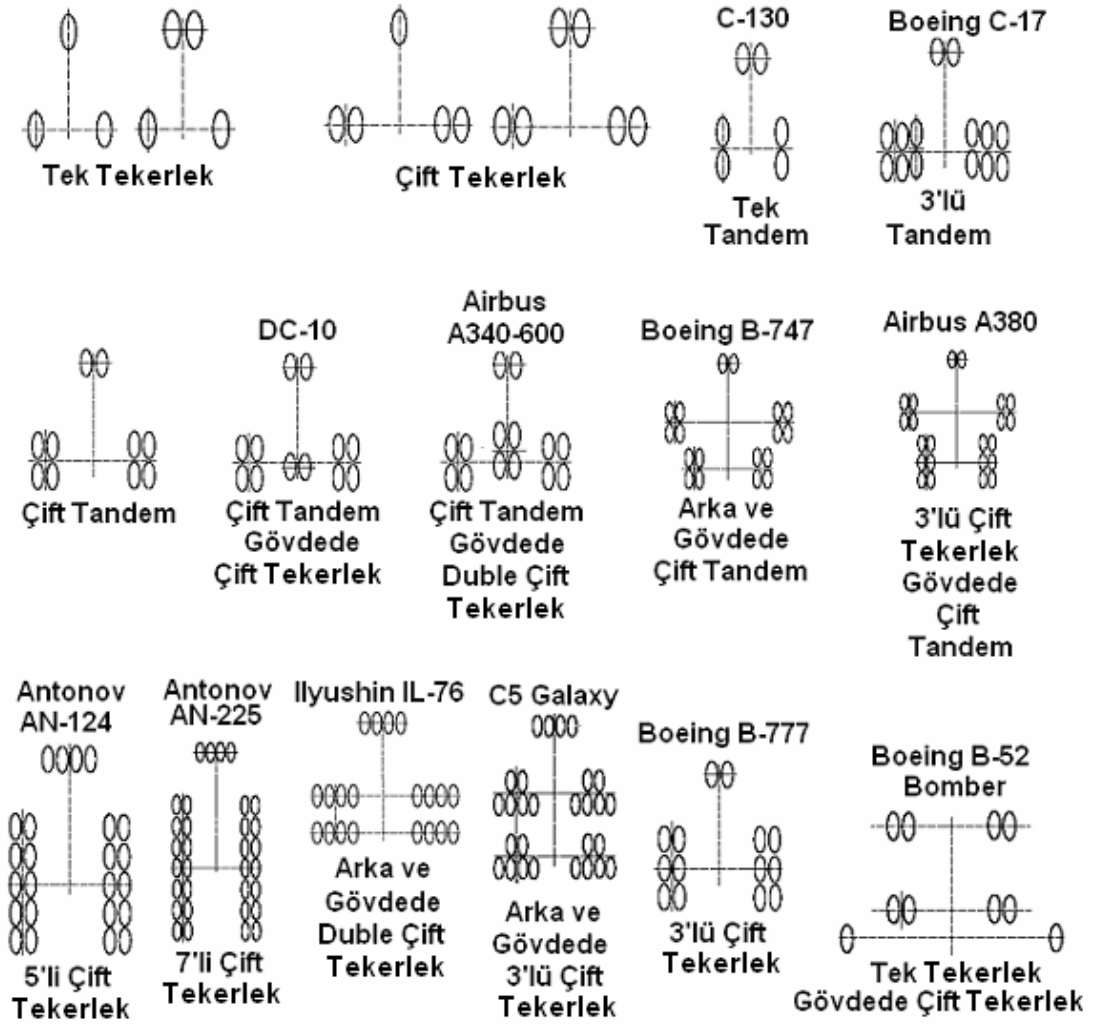
Uçak ağırlığı üstyapı tasarımına etki eden ana etkindir. Ampirik yöntemlerde değişkenlerin sayısını azaltmak için bazı geçerli varsayımlar kullanılmıştır. Örneğin; arka tekerlek ağırlık yüzdesi uçağın toplam ağırlığının ortalama % 90 - 95'i, ön tekerlek ağırlık yüzdesi de toplam ağırlığın ortalama % 5 - 10'u olarak hesaplarda göz önüne alınmış ve buna bağlı kalarak abaklarda ve grafiklerdeki uçak ağırlık eğrileri çizilmiştir [5].



Şekil 2.6: Çeşitli Uçak Tipleri ve Ağırlıkları

2.2 Uçak İniş Takımı Tipleri

Uçak iniş takımları; uçak ağırlığı ve üstyapı arasındaki etkileşimi belirlemek için bir araç olarak kullanılır. İniş takımı tipi ve konfigürasyonu, uçak ağırlığının üstyapı üzerinde nasıl dağıtılacağını belirtir ve üstyapının uçak yüklerine karşı göstereceği dayanımı belirler. İniş takımı konfigürasyonları, lastik temas bölgeleri ve lastik basıncının incelenmesiyle elde edilen sonuçlar, bunların, uçağın ağırlığı ile belli bir eğilim izlediğini göstermiştir. Esnek ve rijit üstyapı kalınlığı tasarım hesapları; iniş takımı tiplerine ve geometrisine bağlı olduğundan, tasarım eğrileri uçak iniş takımı konfigürasyonlarına göre geliştirilmiştir. Trafik tahmini, farklı iniş takımlarına ve farklı ağırlıklara sahip olan çeşitli uçakların bir karışımı olduğundan, toplam trafiğin etkileri, tasarımda kullanılan uçağın iniş takımlarına dönüştürülür [5].

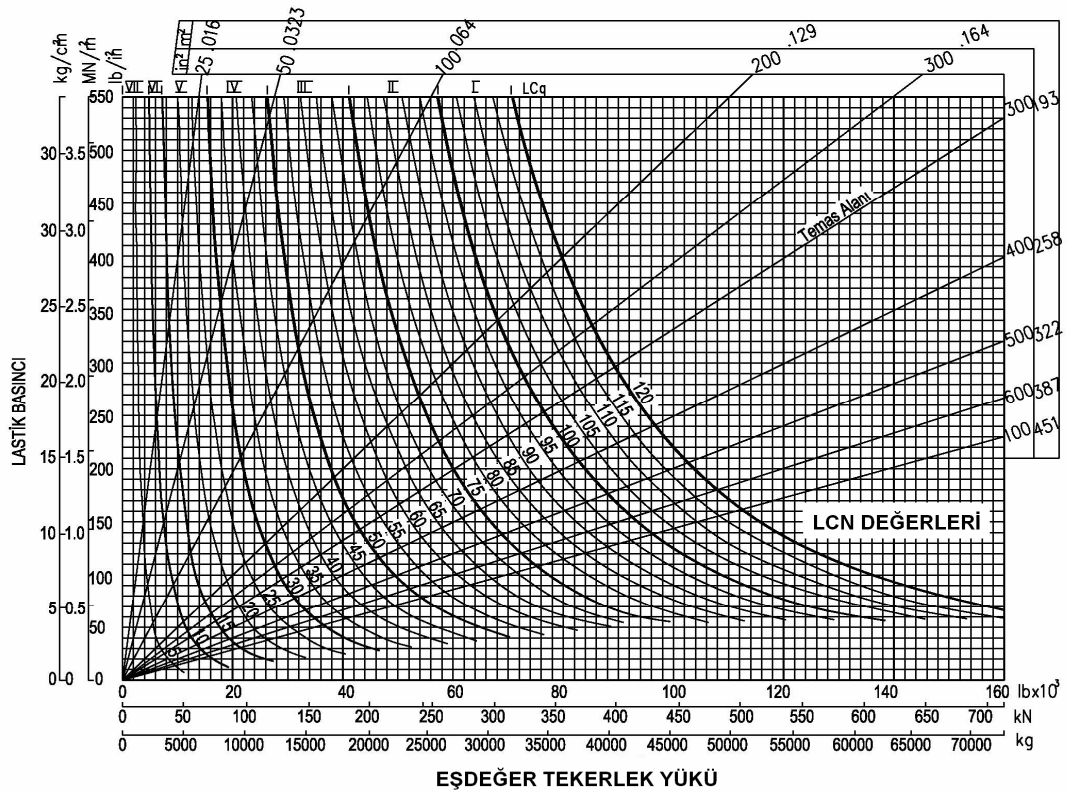


Şekil 2.7: Çeşitli Uçak Tipleri İçin İniş Takımı Düzenleri

3. LCN YÖNTEMİ

LCN (Load Classification Number); üstyapı tasarımında ve mevcut bir üstyapının gelişen uçak şartları altında nasıl bir dayanım göstereceğini değerlendirmede kullanılan bir tasarım yöntemidir. Kullanılan ilk sistem olan ve günümüzde de halen kullanılmakta olan LCN yöntemi; 1962 yılından beri üstyapı taşıma gücünün belirlenmesi ve üstyapı kalınlıklarının tespitinde kullanılmaktadır.

Yöntem; uçak ağırlığı, lastik iç basıncı, temas alanı ve üstyapının taşıma gücü arasındaki ilişkiyi esas alır. Üstyapı kalınlığı, üstyapı tipleri ve zemin durumu gibi faktörleri birlikte değerlendirir [7].



Şekil 3.1: Değişkenlere Göre LCN Eğrileri

Havaalanı üstyapıları, kullanılacak uçaklara göre belirli tekerlek yükü ile uçakların lastik basıncı göz önüne alınarak, bu değerleri karşılayacak şekilde tasarlanır ve inşa edilir. Her ne kadar, tasarım sonucunda bulunan minimum kalınlıklar ile dayanımların sağlanması amacıyla, her türlü malzeme, imalat ve işçilikler teknik şartnamelere bağlanmışsa da, genel olarak inşaat sonrasında temel ve temel altı tabakalarının sıkışması, beton ve bitümlü sıcak karışım tabakalarının özellikleri ve dayanımlarındaki değişiklikler, üstyapıdan istenilen son dayanımı değiştirerek azaltabilir. Ayrıca, hizmete açılan üstyapıların dayanımı bir kaç sene sonra gözle görülmeyen bazı etkilerle mesela nem oranının değişmesi veya tasarımında kabul edilmiş yüklerin üstündeki yüklerle yüklenmesi gibi sebeplerle değişerek, üstyapı bölgelerinin yüzey tabakalarında çatlak ve kırılmalar meydana gelebilir [21].

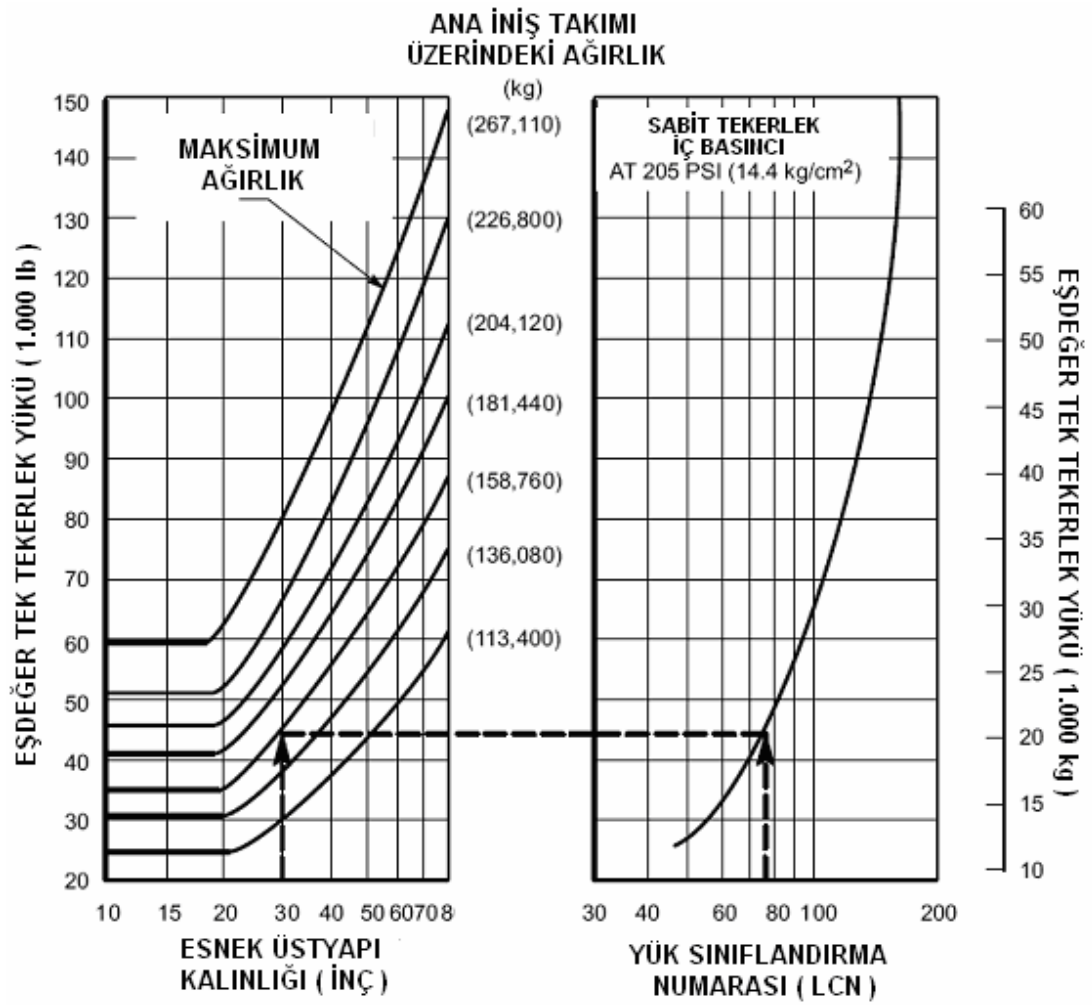
Bu belirtilen hususlar dolayısıyla, tasarım şekli değişebilen bir üstyapının LCN deyiminde, belirli zamanlarda gerçek yük taşıma kapasitesinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu kapasite, yalnız tam ve hassas yükleme testleriyle bulunabilir. Bir üstyapının gerçek yük taşıma kapasitesinin tayini için, en elverişli yöntem Plaka Yükleme Deneyidir. Neticenin doğruluğu ise deney adedine ve deney hassasiyetine bağlı olmaktadır. Yük taşıma kapasitesinin ölçülmesinde plaka taşıma deneyinin seçilmesinin nedenleri teçhizatın mobil ve kolaylıkla taşınabilmesi, yüklerin azar azar arttırabilmesi ve sehim ile çökmelerin ölçülebilmesidir.



Şekil 3.2: Plaka Yükleme Testi Deney Aleti

LCN sisteminde uygulanan genellemeler standart bir kalınlık kullanılmasına sebep olmuştur. Bu küçük gövdeli uçakların kalkış yaptığı bir havaalanı ise üstyapı kalınlığı 51 cm (20 inç) ya da büyük gövdeli uçakların ise 76 cm (30 inç) gibi bir üstyapı kalınlığı kullanmak gibi referans kalınlıkların oluşmasına sebep olmuştur. Fakat grafik ve tabloların kullanılması yöntemde kalınlık tasarımının daha doğru yapılmasına olanak vermiştir [7].

Esnek üstyapıda kalınlık tasarımı yapmak için LCN grafiklerindeki; sabit bir tekerlek basıncında, eşdeğer tek tekerlek yükü değerlerinden yararlanılarak uçak ağırlıklarına bağlı tasarım eğrilerinden kalınlık tespiti yapılır [14].



Şekil 3.3: LCN Değerlerine Göre Esnek Üstyapı Kalınlık Tayini

Rijit üstyapıda kalınlık tasarımı yapmak için ise; aynı şekilde LCN grafiklerinden yararlanılır. Kalınlık tayininde çeşitli parametreler devreye girer ve tasarım bu parametrelerin denklemde işleme konulması ile yapılır.

$$\ell = \sqrt[4]{\frac{Ed^3}{12(1 - \mu^2)k}} = 24.1652 \sqrt[4]{\frac{d^3}{k}} \quad (3.1)$$

ℓ : göreceli rijitlik yarıçapı

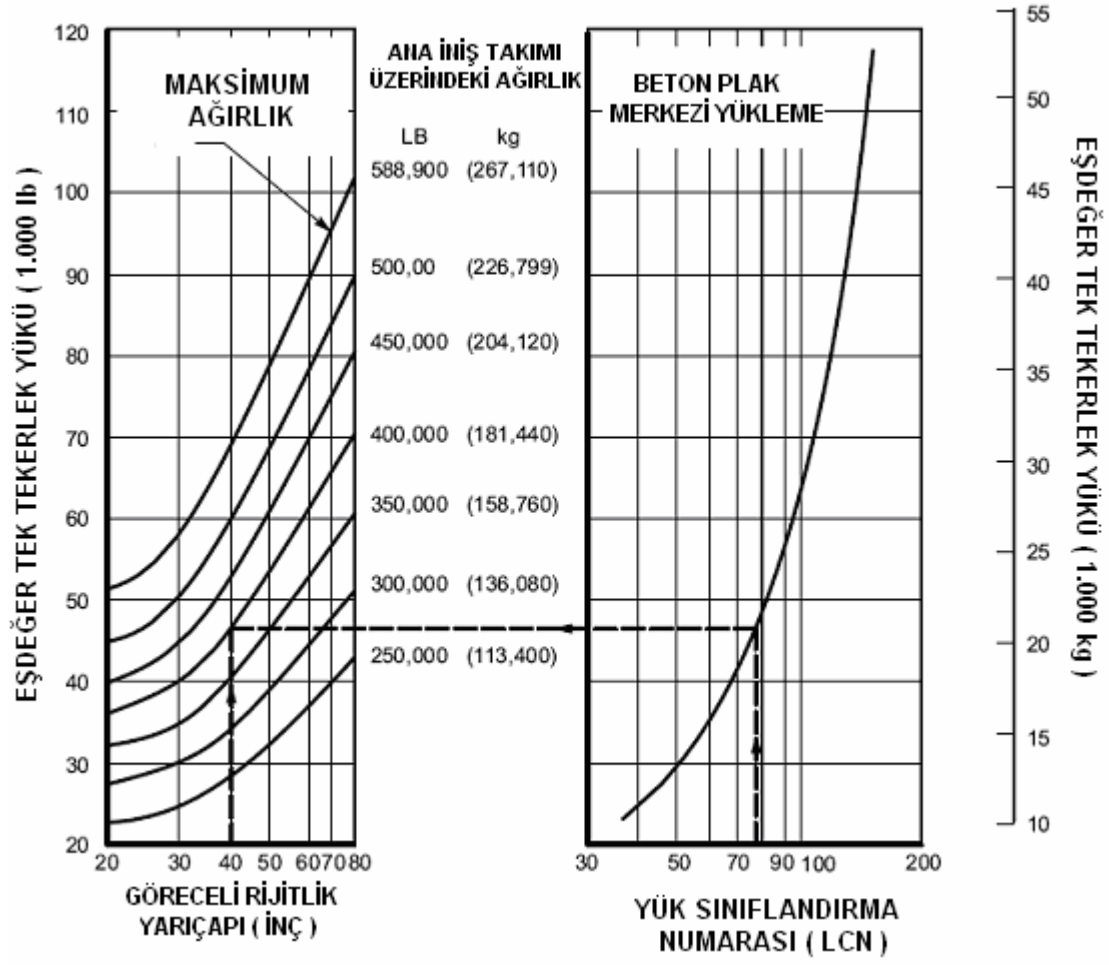
E: Young modülü = 4×10^6 PSI

k: taban zemini modülü, lb/inç³

d: beton tabaka kalınlığı, inç

μ : poisson oranı = 0.15

Taban zemini modülü (k) ile Göreceli rijitlik yarıçapı (ℓ) arasında korelasyonlar yapılarak beton tabaka kalınlığı (d) elde edilir. LCN değerlerini bulmak için esnek üstyapıdaki gibi LCN grafiklerinden yararlanılır.



Şekil 3.4: LCN Değerlerine Göre Göreceli Rijitlik Yarıçapının Belirlenmesi

Bununla birlikte taban zemini modülü (k), göreceli rijitlik yarıçapı (ℓ) ve beton tabaka kalınlığı (d) arasında da uygunluk sağlayabilmek için tablolardan yararlanılır.

Tablo 3.1: (ℓ) Göreceli Rijitlik Yarıçapının (k) ve (d)' ye bağlı değerleri

d (IN.)	$k = 75$	$k = 100$	$k = 150$	$k = 200$	$k = 250$	$k = 300$	$k = 350$	$k = 400$	$k = 500$	$k = 550$
6.0	31.48	29.30	26.47	24.63	23.30	22.26	21.42	20.72	19.59	19.13
6.5	33.43	31.11	28.11	26.16	24.74	23.64	22.74	22.00	20.80	20.31
7.0	35.34	32.89	29.72	27.65	26.15	24.99	24.04	23.25	21.99	21.47
7.5	37.22	34.63	31.29	29.12	27.54	26.32	25.32	24.49	23.16	22.61
8.0	39.06	36.35	32.85	30.57	28.91	27.62	26.58	25.70	24.31	23.74
8.5	40.88	38.04	34.37	31.99	30.25	28.91	27.81	26.90	25.44	24.84
9.0	42.67	39.71	35.88	33.39	31.58	30.17	29.03	28.08	26.55	25.93
9.5	44.43	41.35	37.36	34.77	32.89	31.42	30.23	29.24	27.65	27.00
10.0	46.18	42.97	38.83	36.14	34.17	32.65	31.42	30.39	28.74	28.06
10.5	47.90	44.57	40.28	37.48	35.45	33.87	32.59	31.52	29.81	29.11
11.0	49.60	46.16	41.71	38.81	36.71	35.07	33.75	32.64	30.87	30.14
11.5	51.28	47.72	43.12	40.13	37.95	36.26	34.89	33.74	31.91	31.16
12.0	52.94	49.27	44.52	41.43	39.18	37.44	36.02	34.84	32.95	32.17
12.5	54.59	50.80	45.90	42.72	40.40	38.60	37.14	35.92	33.97	33.17
13.0	56.22	52.32	47.27	43.99	41.61	39.75	38.25	36.99	34.99	34.16
13.5	57.83	53.82	48.63	45.26	42.80	40.89	39.35	38.06	35.99	35.14
14.0	59.43	55.31	49.98	46.51	43.98	42.02	40.44	39.11	36.99	36.12
14.5	61.02	56.78	51.31	47.75	45.16	43.15	41.51	40.15	37.97	37.08
15.0	62.59	58.25	52.63	48.98	46.32	44.26	42.58	41.19	38.95	38.03
15.5	64.15	59.70	53.94	50.20	47.47	45.36	43.64	42.21	39.92	38.98
16.0	65.69	61.13	55.24	51.41	48.62	46.45	44.70	43.23	40.88	39.92
16.5	67.23	62.56	56.53	52.61	49.75	47.54	45.74	44.24	41.84	40.85
17.0	68.75	63.98	57.81	53.80	50.88	48.61	46.77	45.24	42.78	41.78
17.5	70.26	65.38	59.48	54.98	52.00	49.68	47.80	46.23	43.72	42.70
18.0	71.76	66.78	60.35	56.16	53.11	50.74	48.82	47.22	44.66	43.61
19.0	74.73	69.54	62.84	58.48	55.31	52.84	50.84	49.17	46.51	45.41
20.0	77.66	72.27	65.30	60.77	57.47	54.92	52.84	51.10	48.33	47.19
21.0	80.55	74.97	67.74	63.04	59.62	56.96	54.81	53.01	50.13	48.95
22.0	83.41	77.63	70.14	65.28	61.73	58.98	56.75	54.89	51.91	50.69
23.0	86.24	80.26	72.52	67.49	63.83	60.98	58.68	56.75	53.67	52.41
24.0	89.04	82.86	74.87	69.68	65.90	62.96	60.58	58.89	55.41	54.11
25.0	91.81	85.44	77.20	71.84	67.95	64.92	62.46	60.41	57.14	55.79

LCN yönteminde trafik hacmi tasarım aşamasında değerlendirilmemektedir. Yönteme göre zeminler, çakıllı ve kireçtaşı olduğu durumlar için “iyi” ve killi olduğu durumlar için “kötü” olarak sadece iki sınıfta tanımlanmıştır. Yöntem, herhangi bir arazi için zemin sınıfının tespit edilmesinde mühendislik tecrübesini ön plana çıkarmaktadır. Kullanılan abaklar dünya çapında elde edilen deneysel sonuçlar ve tecrübelerle dayanarak ampirik olarak hazırlanmıştır. Tasarımda, trafik yoğunluğunun tam olarak tanımlanamadığı ve üstyapı kalınlığının değişmesinin maliyete olan etkisinin tespit edilememesi sebebiyle mühendislik tecrübesinin kullanılması gerekmektedir [20].

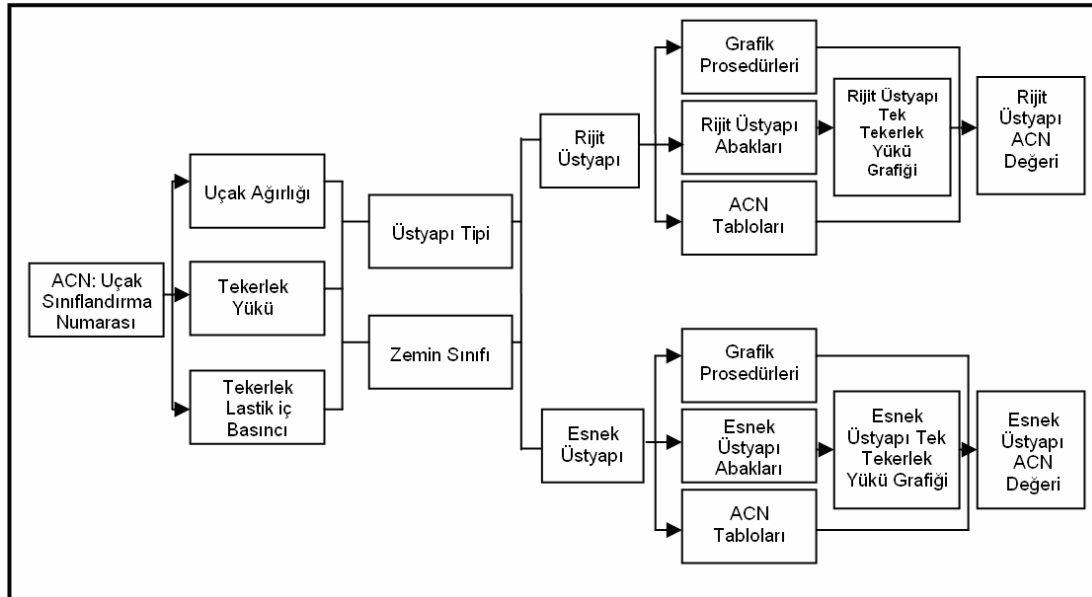
4. ACN / PCN YÖNTEMİ

ACN / PCN yöntemi; havaalanı üstyapı dayanımlarının, taşıma gücünün rapor edilmesinde ve üstyapı tabaka kalınlık tayininde kullanılan uluslararası nitelikli bir standarttır. 1981 yılından itibaren havaalanı üstyapı tasarım yöntemi olarak kullanılmaktadır.

ACN (Aircraft Classification Number); uçağın üstyapı üzerinde yaptığı göreceli etkiyi ifade eden sayı,

PCN (Pavement Classification Number); uçağın yaptığı etkiye karşılık üstyapının gösterdiği dayanımı ifade eden sayı anlamını vermektedir.

ACN / PCN yönteminin ampirik bir yöntem olması nedeniyle; ACN değeri hesaplanırken, kullanılan uçak ağırlığının “Statik” bir ağırlık olduğu ve dinamik unsurların (üstyapının sürtünme katsayısı, uçak hızı, sıcaklık...) yüklemeye artışa sebep olmadığı varsayılır [14].



Şekil 4.1: ACN Değerlerinin Belirlenmesi İçin İzlenecek Adımlar

ACN / PCN Yöntemi ile yapılacak tasarım sonucu oluşturulacak raporda;

- Seçilecek üstyapı tipi
- Zemin sınıflandırması ve taşıma gücü
- Maksimum lastik basıncı
- Üstyapı tabaka kalınlık tayini hakkında bilgiler verilir.

4.1 Taban Zemini Taşıma Gücü Kategorisi

ACN-PCN Yönteminde zemin taşıma gücü sınıflandırılması olarak sekiz standart değer (dört rijit üstyapı için k değeri ile dört esnek üstyapı için CBR değeri) kullanılır.

Tablo 4.1: Zemin Taşıma Gücü Kategorisi

ÜSTYAPI TİPİ	RİJİT			
ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
	$k = 150 \text{ MN / m}^3$	$k = 80 \text{ MN / m}^3$	$k = 40 \text{ MN / m}^3$	$k = 20 \text{ MN / m}^3$
	$k > 120 \text{ MN / m}^3$	$120 > k > 60$	$60 > k > 25$	$k < 25 \text{ MN / m}^3$
ÜSTYAPI TİPİ	ESNEK			
ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
	CBR = 15	CBR = 10	CBR = 6	CBR = 3
	CBR > 13	$13 > \text{CBR} > 8$	$8 > \text{CBR} > 4$	$\text{CBR} < 4$

4.2 Lastik İç Basıncı

Daha önceden yapılmış havaalanı üstyapılarında yapılan incelemelerin sonuçlarında ve eski test sonuçlarının yeniden değerlendirilmesi ile elde edilen verilerde lastik iç basıncının uçak ağırlığı ve tekerlekler arası boşluklar üzerinde ikincil etkilere sahip olduğu görülmüştür. Bu sebeple uçak tekerleklerinin lastik basınçlarını dört grupta kategorize etmenin ve üstyapı tasarımında da kullanılan grafik ve abaklarda da 4 grupta ele alınması uygun görülmüştür. Normal olarak uçakların lastikleri maksimum brüt ağırlıklarına uygun bir basınca kadar şişirilir ve bu basınç kalkış ağırlığındaki değişikliklere bakılmaksızın muhafaza edilir [5].

Tablo 4.2: Lastik İç Basıncı Limitleri

LASTİK İÇ BASINCI	yüksek	orta	düşük	çok düşük
BASINÇ LİMİTİ	yok	1.50 Mpa 217.5 psi	1.00 Mpa 145 psi	0.5 Mpa 72.5 psi

4.3 Eşdeğer Tek Tekerlek Yükü

Uçakların iniş takımları ile üstyapı arasındaki yüklemeyi belirlemek için kullanılır. Bir uçak iniş takımı için üstyapıya uygulanan toplam yüklemenin; 181.3 psi (1.25 Mpa) standart lastik iç basıncındaki tek tekerleğe karşı gelen eşdeğer yüklemeye eşitlenerek bulunur. Kısaca ACN / PCN yönteminde tek bir tekerleğin lastik basıncı 181.3 psi (1.25 Mpa) olarak standartlaştırılmıştır.



Şekil 4.2: Çeşitli İniş Takımı Düzenlerinden Örnekler

4.4 Uçak Sınıflandırma Numarası (ACN)

Bir uçağın ACN'si, tek tekerlek yükünün bin kilogram olarak ifade edildiği değerinin iki katı şeklinde tanımlanır. Yöntemde kullanılan grafiklerdeki değerlerde bu parametreler arasındaki ilişkiye bağlı alınarak elde edilmiştir.

ACN / PCN yönteminde esnek üstyapı için üstyapı kalınlık tasarımı yapılmak istenirse; matematiksel denklem kullanılarak tasarım kalınlığı elde edilir.

$$t = \sqrt{\frac{DSWL}{C_1 CBR} - \frac{DSWL}{C_2 P_s}} \quad (4.1)$$

Denklemde;

- a. t = referans kalınlık, santimetre olarak
- b. $DSWL = 181.3$ psi (1.25 Mpa) lastik basıncında eşdeğer tek tekerlek yükü
- c. $P_s = 181.3$ psi (1.25 Mpa)
- d. $C_1 = 0.5695$, $C_2 = 32.035$
- e. CBR = zemin taşıma gücü değeri (sadece 3, 6, 10 ve 15 olmak üzere dört standart değer kullanılır.)

Fakat grafikler ve abaklar yardımıyla kalınlık tasarımı yapmak ve ACN değerine ulaşmak daha kolaydır. Kullanılan grafiklerdeki eğrilerde denklemden yola çıkılarak belirlenmiştir.

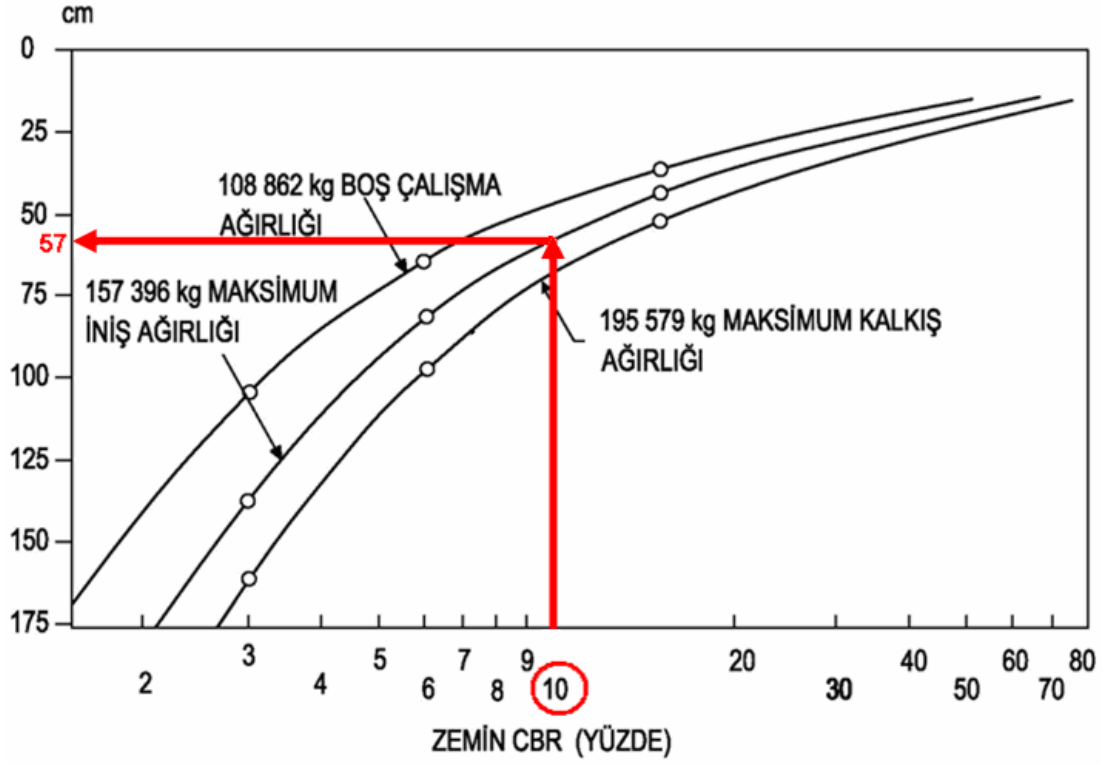
4.5 Esnek Üstyapı Tasarım Örneği

DC-10-10 uçağı için;

- a. $CBR = \% 10$ (orta taşıma gücü)
- b. Tekerlek lastik iç basıncı = 185.6 psi (1.28 Mpa)
- c. Maksimum İniş Ağırlığı = 157 400 kg için,

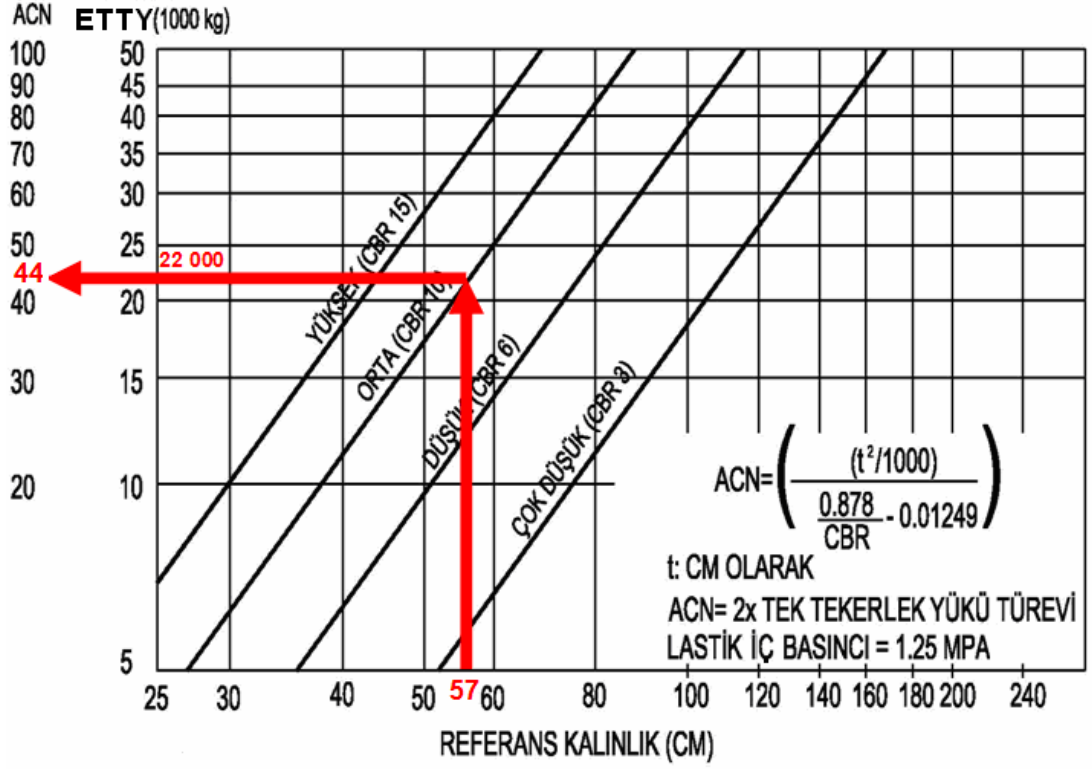
Esnek Üstyapı Kalınlığı ve ACN değerleri hesaplanmak istenildiğinde, ACN / PCN yönteminde esnek üstyapı tasarımı ve ACN değerinin elde edilmesi için bulunan çeşitli grafiklerden yararlanılır. Grafikte zemin taşıma gücü $CBR = \% 10$ değerinden uçağın istenen durumdaki ACN değeri için durum ağırlık eğrisine gidilir. Buradan esnek üstyapı kalınlık ordinatına gidilerek tasarım kalınlığı = 57 cm kalınlığa ulaşılır.

ESNEK ÜSTYAPI KALINLIKLARI



Şekil 4.3: DC – 10 – 10 Uçağı İçin Esnek Üstyapı Tabaka Kalınlığının Bulunuşu

Buradan kalınlık – ACN grafiğine gidildiğinde, 57 cm üstyapı kalınlığı için kalınlık apsisinden zeminin taşıma gücü (CBR = % 10) değerine gidilir ve oradan da eşdeğer tek tekerlek yükü ordinatına ulaşılır (22 000 kg). Eşdeğer tek tekerlek yükünün karşılığındaki değer ACN değeri olarak belirlenir. (ACN = 44) Aynı zamanda bulunan ACN değeri eşdeğer tek tekerlek yükünün ölçü değerinin iki katı değeridir.



Şekil 4.4: DC 10 – 10 Uçağı için Esnek Üstyapıda ACN Değerinin Bulunuşu

Aynı şekilde esnek üstyapıda uçak ACN değeri; kalınlık tasarımında olduğu gibi matematiksel denklem yardımıyla da elde edilir.

$$ACN = \left(\frac{(t^2/1000)}{\frac{0.878}{CBR} - 0.01249} \right) \quad (4.2)$$

Burada; t = referans kalınlık, santimetre olarak

CBR = zemin taşıma gücü değeri (%)

(sadece % 3, 6, 10 ve 15 olmak üzere dört standart değer kullanılır.)

Elde edilen kalınlık toplam esnek üstyapı kalınlığıdır.

4.6 Rijit Üstyapı Tasarım Örneği

B 727 – 200 uçağı için;

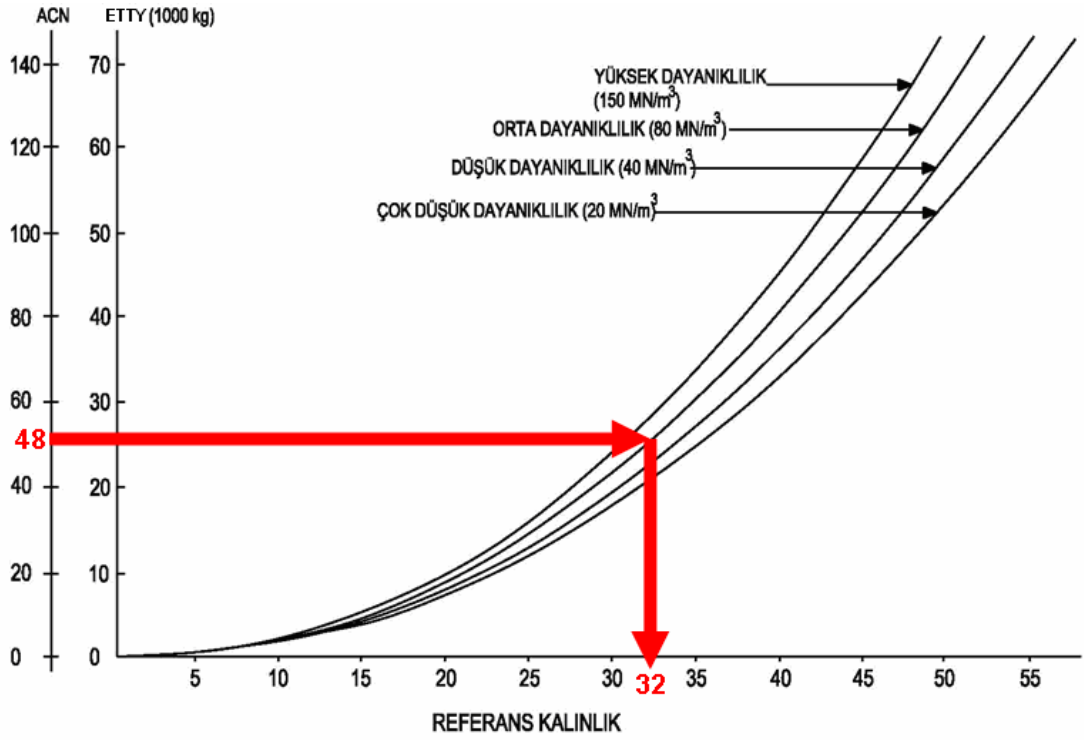
- Ana İniş Takımları Üzerindeki Ağırlık = 79 400 kg
- $k = 80 \text{ MN} / \text{m}^3$ (orta taşıma gücü)
- Tekerlek lastik iç basıncı = 181.3 psi (1.25 Mpa)
- Beton Çalışma Gerilmesi = $280 \text{ 422 kg} / \text{m}^2$ (2.75 Mpa)

Beton üstyapı yüzey tabakası kalınlığı ve ACN değeri hesap edilmek istenirse; ACN değerleri uçak tiplerine göre hazırlanmış Üstyapı – ACN tablolarından elde edilir. Burada B 727 – 200 uçağı için, orta taşıma gücüne sahip taban zeminine bağlı olarak, rijit üstyapı için ACN değeri 48 olarak okunur.

UÇAK TİPİ (1)	BRÜT KÜTLE (1b) = (kg) (2) (3)		BR İNİŞ TAKIMI DAKİ YÜK % (4)	LASTİK BASINCI psi kg /cm ² MPa (5) (6) (7)			RİJİT				ESNEK				
							YÜKSEK 150 (MN/m ³) (8)	ORTA 80 (MN/m ³) (9)	DÜŞÜK 40 (MN/m ³) (10)	ÇOK DÜŞÜK 20 (MN/m ³) (11)	YÜKSEK CBR 15 (12)	ORTA CBR 10 (13)	DÜŞÜK CBR 6 (14)	ÇOK DÜŞÜK CBR 3 (15)	
	(1)	(2)		(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Airbus A 300 Model B2	113,025 188,914	112,000 85,590	46.5	179	12.55	1.23	37 19	4 2	52 26	60 30	40 21	45 23	55 27	70 26	35
Airbus A 300 Model B4	136,125 193,523	137,000 87,826	46.5	205	14.41	1.41	44 20	2 3	61 27	69 32	46 22	51 23	62 27	79 35	
BAC 1-11 Series 400	87,500 99,600	89,600 21,498	47.5	135	9.49	0.93	25 13	6 3	28 14	29 15	22 11	24 12	27 13	29 15	
BAC 1-11 Series 475	98,500 51,700	44,679 23,451	47.5	82	5.76	0.57	22 10	5 1	27 12	28 13	19 9	24 10	28 12	31 15	
BAC 1-11 Series 500	104,500 54,580	47,400 24,757	47.5	156	10.96	1.08	32 15	4 6	35 18	36 17	29 13	30 13	33 15	35 17	
B707-120B	250,000 127,500	117,027 57,333	46.5	170	11.95	1.17	28 13	3 1	40 15	46 18	31 13	34 14	41 15	54 20	
B707-320B	320,000 142,780	148,778 64,764	46.0	180	12.65	1.24	39 14	6 5	55 18	63 20	42 15	47 16	57 17	73 23	
B707-320C	336,000 151,500	152,407 68,719	46.5	180	12.65	1.24	41 16	5 7	58 19	66 22	44 16	49 17	60 19	77 25	
B707-320F	336,000 151,500	152,407 151,500	46.5	180	12.65	1.24	41 16	5 7	58 19	66 22	44 16	49 17	60 19	77 25	
B707-420	336,000 142,600	143,335 64,682	46.0	180	12.65	1.24	37 14	4 5	52 18	60 20	40 15	45 16	54 17	70 23	
B727-100	161,000 91,100	73,328 41,322	45.7	158	11.10	1.09	40 20	3 1	46 14	48 14	37 19	38 19	44 21	49 21	25
B727-200 (Standard)	182,000 97,650	88,100 44,283	46.3	162	11.31	1.12	43 23	3 1	49 20	51 27	39 21	41 22	49 24	54 28	
B727-200 (Advanced)	185,000 97,661	85,605 44,074	47.8	150	10.54	1.01	50 21	3 25	56 26	59 28	46 21	48 22	55 24	60 29	
B737-100	100,300 57,153	44,777 25,942	46.3	148	10.40	1.02	24 12	2 13	28 14	29 15	22 12	23 12	26 13	30 15	

Şekil 4.5: B 727 – 200 Uçağı İçin ACN Değerinin Bulunuşu

Tasarım üstyapı kalınlığına elde edilen ACN değeri ile ulaşmak için aynı şekilde ACN – üstyapı kalınlık tablolarından yararlanılır. Burada ACN = 48 değeri için taban zemini taşıma gücü eğrisinden yararlanarak tasarım kalınlığı = 32 cm değerine ulaşılır. Elde edilen kalınlık beton tabaka kalınlığıdır.

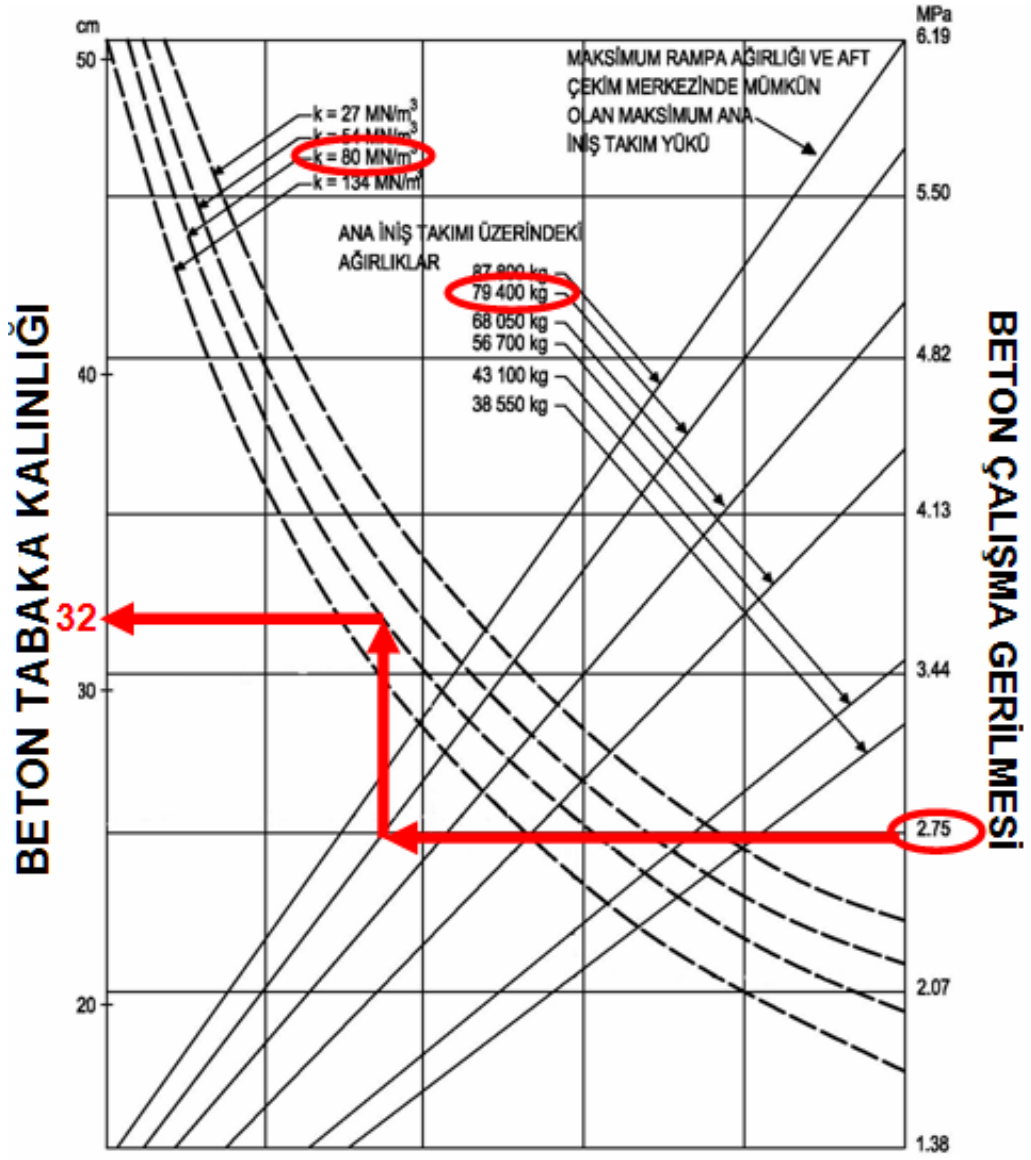


Şekil 4.6: B 727 – 200 Uçağı İçin Kalınlık Hesabı

Beton çalışma gerilmesi değeri ile uçağın ana iniş takımı üzerindeki ağırlık ve taban zemini taşıma gücü değerleri yardımıyla beton tabaka kalınlığı = 32 cm değerine yöntemde kullanılan diğer grafikler aracılığıyla ulaşmak mümkündür.

4.7 Beton Çalışma Gerilmesi

Rijit üstyapının beton çalışma gerilmesi; Rijit üstyapı için, raporlama amaçlı olarak, sadece tek tip bir raporlama sağlamak için, standart bir gerilme tespit edilir $S = 280\,422 \text{ kg / m}^2$ (2.75 Mpa). Üstyapının tasarımı veya değerlendirmesi için kullanılacak olan standart bir gerilme ile ilgisi yoktur.



Şekil 4.7: B 727 – 200 Uçağı İçin Rijit Üstyapı Beton Tabaka Kalınlığının Bulunuşu

Esnek üstyapıda elde edilen tasarım kalınlığı toplam üstyapı kalınlığı, rijit üstyapıda da sadece beton üstyapı yüzey tabakasının kalınlığıdır. Temel ve alt temel tabakalarının kalınlık tayini ise mühendislik tecrübelerine bağlı kalmaktadır. Bu özellik ACN / PCN yöntemindeki önemli bir eksikliği açıkça ortaya koymaktadır.

4.8 PCN Değerleri

PCN değerleri plaka yükleme deneyi ile belirlenir. Elde edilen test verilerine göre bulunan üstyapı PCN değeri üstyapının güvenli şekilde kullanımı için, en az ACN değerinde veya daha büyük olmalıdır.

Başlangıçta, bu değer sağlanmış olsa bile; işçilik ve malzeme kalitesi, temel tabakalarında şartnamelerce öngörülen sıkışma oranlarının üzerinde gerçekleşme durumu, yeraltı su seviyesi ve yönünde değişimler, drenaj sorunu, tasarımda öngörülen yüklerin üzerinde üstyapının yüklenmesi nedenleriyle durumda değişimler olabilir. Bu nedenle, geri kalan kullanım ömürlerinin tespiti için testlerin en az iki yılda bir yenilenmesi gerekir.



Şekil 4.8: Plaka Yükleme Testi Deney Aleti

5. F.A.A. YÖNTEMİ

F.A.A. (Federal Aviation Administration); A.B.D. Federal Havacılık Dairesinin havaalanı üstyapılarının dayanıklılığı konusundaki tasarım ve raporlama yöntemi, havaalanı üstyapılarına gelen yüklemeleri; uçakların her bir iniş takımı tipi için brüt uçak ağırlığı ile ifade eder. Bu çeşitli tip ve ağırlıklardaki uçaklar için; mevcut üstyapının değerlendirilmesine ve üstyapı kalınlık tasarımı yapılmasına olanak verir.

1978'de A.B.D. Federal Havacılık Dairesi, esnek üstyapılar için Kaliforniya Taşıma Oranını (CBR), rijit üstyapılar için kenar yükleme analizini ve taban zemini sınıflandırması için Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemini kabul etmiştir.

Yöntemin teorisine bakıldığında üstyapı kalınlık tasarımı, dikkate alınacak faktörlerden sadece bir tanesidir. İklim şartları, arazinin topoğrafik yapısı, çevresel özellikler, kullanılan malzemelerin kalitesi ve yapım teknikleri dikkate alınması ve göz ardı edilmemesi gereken unsurlardır.

F.A.A. yöntemine göre üstyapı tasarımı yaparken; mevcut üstyapıların trafik şartlarında nasıl bir dayanım gösterdiği ayrıntılı olarak incelenir. Mevcut üstyapıda yetersiz olan ve üstyapı bozulmalarına uğramış bölgeler paftalar üzerinde gösterilir ve bu üstyapı yetersizliklerinin sebepleri kesinleştirilir. Trafik veya yüklemelerden kaynaklanan yetersizliklerin iklimden, drenajdan veya malzemelerin ve işçiliğin kötülüğünden kaynaklanan yetersizliklerden ayrılması son derece önemlidir. Taban zemini yapısındaki önemli değişimler; nem oranındaki değişiklikler, su tutan tabakalar, yeraltı sularının seviyesi ve benzer oluşumların açıklığa kavuşturulması için bir zemin araştırması yapılmalıdır. Herhangi bir bakım - onarım çalışması yapılmadan önce alınacak tedbirlerin kesinleştirilmesi için drenaj koşulları yerinde incelenir. Gerekli standartlara ve şartnamelere uygunluk derecesi açısından üstyapı malzemelerinin ve inşaat yöntemlerinin ile uygulamalarının müsait olma durumları değerlendirilir [7].

5.1 Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi

F.A.A. araştırma çalışmalarında, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sisteminin, havaalanı üstyapısının performansını etkileyen zemin özelliklerinin incelenmesi konusunda avantajlı olduğu sonucuna varmıştır. Zemin sınıflandırılmasının belirlenmesindeki temel amaç, mühendisin zeminin muhtemel üstyapı davranışını tahmin edebilmesine olanak vermektir. Zemin modülleri de kendi içlerinde performans tahminlerinde temel oluşturan bir yönlendirme sağlarlar.

Tablo 5.1: F.A.A Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırılması ve Özellikleri

Ana Bölümler	Harf	İsim	Kullanmaya Manuz Kalmadığı Zaman Temel Olarak Değeri	Aşırma Yüzeyinin Altında Zemin Olarak Değeri	Potansiyel Buzlanma	Sıkıştırmalılık ve Dağılıma	Drenaj Özellikleri	Sıkıştırma Teçhizat	Kuru Birim Ağırlık (lb/ft ³)	Saha CBR	Zemin Modülü (lb/in ²)
Çakıl ve Çakılı Topraklar	GW	Çakıl veya Kumlu Çakıl İyi Derecede	Mükemmel	İyi	Sıfır ile çok hafif	Nerdeyse yok	Mükemmel	Crawler tipi traktör, Lastik tekerli teçhizat, çelik tekerli silindir	125-140	60-80	300 veya üstü
	GP	Çakıl veya Kumlu Çakıl Zayıf Derecede	İyile Mükemmel Arası	Zayıf ile orta	Sıfır ile çok hafif	Nerdeyse yok	Mükemmel	Crawler tipi traktör, Lastik tekerli teçhizat, çelik tekerli silindir	120-130	35-60	300 veya üstü
	GU	Çakıl veya kumlu çakıl, tek tip olarak derecelendirilmiş	İyi	Zayıf	Sıfır ile çok hafif	Nerdeyse Yok	Mükemmel	Crawler tipi traktör, Lastik tekerli teçhizat	115-125	25-60	300 veya üstü
	GM	Çamurlu çakıl veya çamurlu kumlu çakıl	İyile Mükemmel Arası	Orta ile iyi	Hafif ile Orta	Çok hafif	Orta ile Zayıf	Lastik tekerli teçhizat, keçi ayağı silindir, sıkı nemlilik takibi	130-146	40-80	300 veya üstü
Kaba taneli toprak	GC	Kıllı çakıl veya kıllı kumlu çakıl	İyi	Zayıf	Hafif ile Orta	Hafif	Zayıf ile Pratikte su geçirmez	Lastik tekerli teçhizat, keçi ayağı silindir	120-140	20-40	200-300
	SW	Kum veya çakılı kum, iyi derecede	İyi	Zayıf	Sıfır ile Çok Hafif	Nerdeyse yok	Mükemmel	Crawler tipi traktör, Lastik tekerli teçhizat	110-130	20-40	200-300
	SP	Kum veya çakılı kum, zayıf derecede	Orta ile iyi	Zayıf ile Uygunsuz	Sıfır ile Çok Hafif	Nerdeyse yok	Mükemmel	Crawler tipi traktör, Lastik tekerli teçhizat	105-120	15-25	200-300
	SU	Kum veya çakılı kum, tektip olarak derecelendirilmiş	Orta ile iyi	Uygun Değil	Sıfır ile Çok Hafif	Nerdeyse Yok	Mükemmel	Crawler tipi traktör, Lastik tekerli teçhizat	100-115	10-20	200-300
İnce Taneli Toprak	SM	Çamurlu kum veya çamurlu çakılı kum	İyi	Zayıf	Hafif ile Yüksek	Çok hafif	Orta ile Zayıf	Lastik tekerli teçhizat, keçi ayağı silindir, sıkı nemlilik takibi	120-136	20-40	200-300
	SC	Kıllı kum veya kıllı çakılı kum	Orta ile iyi	Uygun Değil	Hafif ile Yüksek	Hafif ile Orta	Zayıf ile Pratikte su geçirmez	Lastik tekerli teçhizat, keçi ayağı silindir	105-130	10-20	200-300
	ML	Çamurlar, kumlu çamurlar, çakılı çamurlar veya silisli topraklar	Zayıf ile Orta	Uygun Değil	Orta ile çok Yüksek	Hafif ile Orta	Orta ile Zayıf	Lastik tekerli teçhizat, keçi ayağı silindir, sıkı nemlilik takibi	100-125	5-15	100-200
	CL	Zayıf killer, kumlu killer veya çamurlu killer	Zayıf ile Orta	Uygun Değil	Orta ile Yüksek	Orta	Geçirgen Değil	Lastik tekerli teçhizat, keçi ayağı silindir, sıkı nemlilik takibi	90-125	5-15	100-200
Yüksek sıkıştırılabilirlik LL>50	OL	Organik çamurlar veya zayıf organik killer	Zayıf	Uygun Değil	Orta ile Yüksek	Orta ile Yüksek	Zayıf	Lastik tekerli teçhizat, keçi ayağı silindir, sıkı nemlilik takibi	90-105	4-8	100-200
	MH	Mikamsi killer veya silisli topraklar	Zayıf	Uygun Değil	Orta ile çok Yüksek	Yüksek	Orta ile Zayıf	Lastik tekerli teçhizat, keçi ayağı silindir, sıkı nemlilik takibi	80-100	4-8	100-200
	CH	Yağlı killer	Zayıf ile çok Zayıf	Uygun Değil	Orta	Yüksek	Geçirgen Değil	Lastik tekerli teçhizat, keçi ayağı silindir, sıkı nemlilik takibi	90-110	3-5	50-100
	OH	Yağlı organik killer	Zayıf ile çok Zayıf	Uygun Değil	Orta	Yüksek	Geçirgen Değil	Lastik tekerli teçhizat, keçi ayağı silindir, sıkı nemlilik takibi	80-105	3-5	50-100
Bataklık kömür ve diğer inorganik topraklar	Pt	Bataklık kömür, kum ve diğerleri	Uygun Değil	Uygun Değil	Hafif	Çok Yüksek	Orta ile Zayıf	Sıkıştırma pratik değil			

5.2 Donma ve Buzlanma

Buzlanmaya maruz kalan bölgelerde veya don bölgelerinde üstyapı tasarımı ayrıntılı çalışma gerektiren karmaşık bir sorundur. Buzlanmanın zararlı etkileri; buzlanmadan kaynaklanan şişmeler veya buzların erimesiyle temelin takviye gücündeki kayıplarla ortaya konulabilir.

F.A.A. yöntemine göre mevsimsel buzlanma şartları için üstyapı tasarımı dört farklı şekilde gerçekleştirilebilir.

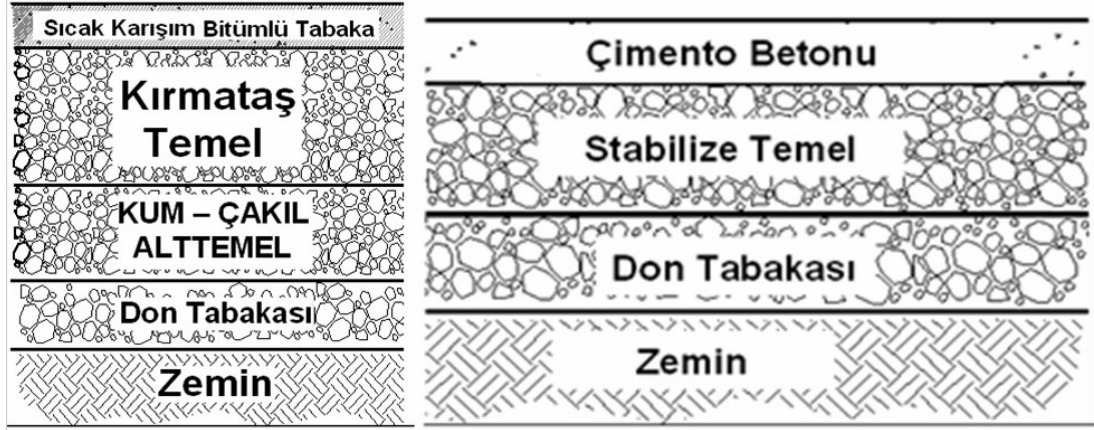
Komple koruma yöntemi; buzlanmaya karşı hassas malzemeleri (elektrik, telefon, akaryakıt vs. hatları gibi) buzlanmadan etkilenmeyecekleri kadar derine koymayı ve bu tür malzemeleri buzlanmadan etkilenmeyen malzemelerle ve tabakalarla desteklemeyi kapsar.

Sınırlı zemin buzlanma penetrasyonu yöntemi; buzlanmanın, buzlanmaya karşı hassas olan zeminde belli bir derinliğe kadar işlemesine izin verir. Bu yöntemde küçük kabul edilebilir deformasyonlar olabilir.

Düşürülmüş zemin dayanıklılık yöntemi; daha düşük üstyapı kalınlığına izin verir ve taksiyolları gibi uçak hızlarının düşük olduğu ve buzlanmadan dolayı meydana gelen şişme etkilerinin daha az kabul edilebileceği yerlerde uygulanmalıdır. Bu yöntemin temel amacı buzların erime döneminde üstyapı için uygun yapısal taşıma gücünü sağlamaktır. Bu yöntemde buzlanmadan kaynaklanan şişmeler birinci derecede önemli değildir.

Düşürülmüş zemin buzlanmadan koruma yöntemi, tasarımcıya buzlanma tasarımını istatistiksel olarak ele alma imkanı sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem sadece apron gibi uçak hızlarının düşük olduğu ve buzlanmadan kaynaklanan şişmenin tolerans edilebileceği yerlerde kullanılmalıdır. İstatistiksel yaklaşım, tasarımcıya diğer üç yöntemden daha çok serbestlik sağlar.

Donma çözülme etkisi üstyapı taşıma gücünde kayıplara neden olabilir. Çözülme olayından sonra tekrar don olursa, kabarmalar ortaya çıkabilir ve üstyapı yüzey tabakası yüzeyinde engebelere ve çatlamalara neden olabilir. Bu nedenle don bölgelerinde üstyapı inşaatı için iki tasarım yöntemi bulunmaktadır. Bunlar, komple koruma yöntemi ve düşürülmüş zemin dayanıklılık yöntemidir [15].



Şekil 5.1: Esnek ve Rijit Üstyapıda Buzlanmaya Karşı Koruma Tabakaları

5.3 Taban Zemini Taşıma Gücü Testleri

5.3.1 Kaliforniya Taşıma Gücü Oranı (CBR)

CBR deneyi, havaalanı esnek üstyapı tasarımında taban zemini taşıma gücünü belirlemek için yapılan, basit olarak üniform basınç altında yapılan bir penetrasyon deneyidir. Zemin numunesine, dakikada 1,27 mm deplasman yaptırmak için uygulanan kuvvetin, standart kırmataş numunesinde aynı penetrasyon derinliğine ulaşmak için uygulanan kuvvete oranı zeminin CBR değeri olarak adlandırılmaktadır. CBR deneyi, havaalanı esnek üstyapı tasarımında; deneyden elde edilen değerler ile tasarım abaklarının birlikte kullanılmasıyla üstyapı için gerekli alttemel, temel ve üstyapı yüzey tabakası kalınlıklarının tespit edilmesine olanak sağlamaktadır.

Laboratuar CBR testleri, yapım yerinden alınan zemin numuneleri ile temel ve alttemelde kullanılacak malzeme numuneleri üzerinde yapılır. Üstyapı temel tabakaları, işlev yönünden yaklaşık üç yıldan sonra tam bir doyum noktasına ulaşma eğilimi gösterirler. İlkbahar gibi, nem oranının yüksek olduğu dönemlerde, mevsimsel nem değişikliklerinde su muhtevası yönünden doymuş numuneler üzerinde test yapılarak CBR tasarım eğri değerleri elde edilir.



Şekil 5.2: CBR Test Aleti

Arazi CBR Testleri birkaç yıl önce yapılmış olan temel tabakaları hakkında bilgiler sağlar. Çakıllı malzemeler üzerinde yapılan CBR testlerini yorumlamak çok zordur. Çakıllı zemin numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar CBR testleri çoğu zaman, kalıbın sınırlandırıcı etkilerinden dolayı çok yüksek CBR değerleriyle sonuçlanırlar. Çakıllı zemin numunelerinin CBR değerlerinin belirlenmesi tecrübelerle dayalı olarak yapılır. Stabilize olmayan taban zemini için maksimum CBR değerinin 50 olarak kabul edilmesi tavsiye edilir.

Uygun bir tasarım değeri tespit etmek için gerekli olan CBR testlerinin sayısını vermek mümkün değildir. Zemin şartlarında bölgede karşılaşılan değişkenliklerin gerekli olan test sayısının belirlenmesi konusunda büyük etkisi vardır. Pratik bir yöntem olarak, her bir ana zemin için yaklaşık olarak üç CBR testinin yapılması uygun görülür. Zemindeki ön inceleme kaç çeşit zemin türü ile karşılaşılacağını gösterir.

5.3.2 Plaka Yükleme Testi

Plaka yükleme testi, rijit üstyapı için taban zemininin taşıma gücünü ölçer. Plaka yükleme testi sonucu, elde edilen taşıma gücü değeri, **k** değeri olarak ifade edilir. **k** değeri, üstyapı beton yüzey tabakasının taban zemininde meydana getirdiği bir birim deformasyon için gerekli olan basınç değeri olarak ifade edilir.

Rijit üstyapı tasarımı, **k** değerine karşı çok hassas değildir. Bir **k** değeri tespit edilirken yapılacak bir hatanın, rijit üstyapının tasarım kalınlığı üzerinde ciddi önem taşıyan bir etkisi yoktur. Plaka yükleme testleri arazide yapılmak zorunda olup, en iyi performansı tasarım sıkıştırma oranına ve nem içeriği şartlarına uygun olarak inşa edilmiş bölgelerde sağlarlar. Plaka yükleme testleri gerçekleştirilmesi nispeten

yorucu ve zahmetli olan testlerdir ve bu nedenle bir tasarım değeri tespit etmek için yürütülecek olan testlerin sayısı sınırlıdır. Yükleme plakası altındaki etki bir uçağın iniş takımlarının yükünü taşıyan üstyapı üzerindeki etki kadar büyük olmadığından alttemel tabakalarının üzerinde yapılan plaka yükleme testleri bazen hatalı sonuçlar verebilir.

5.3.3 Stabilizasyon

Stabilize tabakalar için k değerinin belirlenmesi zor bir sorundur. Stabilize tabakanın kalınlığı belirlemek için eşdeğer kalınlığın elde edilmesi gerekir. Bu tabaka kalınlığı; stabilize temel tabakaları için, kırılmış agrega temel tabakası kalınlığının 1.2 ile 1.6 arasında bir eşdeğerlik faktörü ile çarpılarak elde edilir. Alt temel tabakaları için ise çakıl temel altı tabakasının kalınlığı referans alınır ve diğer temel altı tabakalarının kalınlığı için 1.4 ile 2.3 arasında değişen eşdeğerlik faktörleri ile çarpılır [15].

Tablo 5.2: Stabilize Temel İçin Eşdeğerlilik Faktörü Aralığı

Malzeme	Eşdeğerlilik Faktörü Aralığı
Bitümlü yüzey tabakası	1.2-1.6
Bitümlü temel tabakası	1.2-1.6
Soğuk karışım bitümlü temel	1.0-1.2
Yerinde karışım temel tabakası	1.0-1.2
Çimento katkılı temel tabakası	1.2-1.6
Doğal çimento temel tabakası	1.0
Kırmataş temel tabakası	1.0
Çakıl temel tabakası	1.0

Yüksek oranda stabilize ediciyle stabil hale getirilmiş yüksek kalitede malzemelere, düşük kalitedeki stabilize edici ile stabilize edilmiş malzemeden daha yüksek bir eşdeğerlik faktörü tayin edilir. Belli bir rijit üstyapı yüzey tabakası kalınlığı için, daha kalın bir stabilize tabaka, üstyapının performansını, ince bir stabilize tabakadan daha çok etkileyecektir ve bu nedenle bu tabakaya daha yüksek bir eşdeğerlilik faktörü tayin edilir.

Yüksek kalitede rijit yapıda temel elde etmek amacıyla temel malzemelerine uygulanan stabilizasyon ile elde edilen stabilize temel tabakalarının üstyapı taşıma gücünün artmasında ve drenajın iyileştirilmesinde üstün bir rol oynadığı kanıtlanmıştır. Stabilize ediciler genelde plent-mix olarak hazırlanıp uygulanırlar.

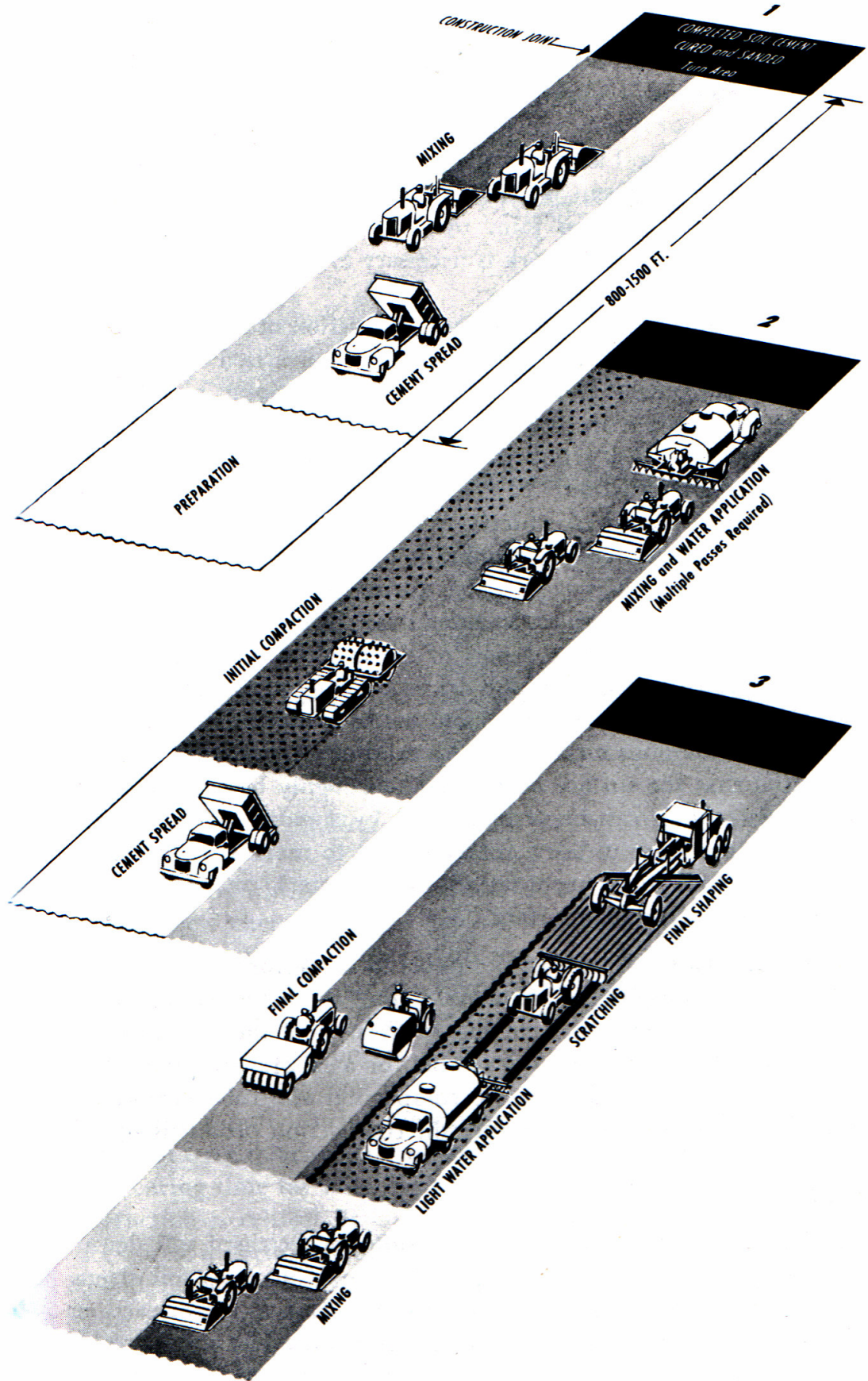
Tablo 5.3: Stabilize Alt Temel İçin Eşdeğerlilik Faktörü

Malzeme	Eşdeğerlilik Faktörü Aralığı
Bitümlü yüzey tabakası	1.7-2.3
Bitümlü temel tabakası	1.7-2.3
Soğuk karışım bitümlü temel	1.5-1.7
Yerinde karışım temel tabakası	1.5-1.7
Çimentodan katkılı temel tabakası	1.6-2.3
Doğal çimento temel tabakası	1.5-2.0
Kırmataş temel tabakası	1.4-2.0
Çakıl temel altı tabakası	1.0

Uygulama aşamasında birçok makine ve araç - gereç kullanılır. Yapım aşamaları ve araçların kullanımı belli bir sıraya göre gerçekleştirilir. Temel malzemenin serilmesi, stabilize edici maddenin temel malzemesinin üzerine yaydırılması, sıkıştırma öncesi malzeme üzerine su püskürtülmesi, ilk ve son sıkıştırma işlemlerinin hepsi belirtilen bir sıra yapılmaktadır. Kullanılan sıkıştırma makinelerinin çeşidi ve yapılan sıkıştırmanın mümkün olduğu kadar hızlı yapılması; istenen yoğunluğa ulaşmak açısından önemli ölçütler arasına girer. Stabilizasyonda ilk sıkıştırmanın keçiayaklı silindir ile ve son sıkıştırmanın düz silindir ve pinomatik tekerlekli kompaktör ile yapılması öngörülür. Son sıkıştırma sürecinde yine malzeme üzerine hafif su püskürtme işlemi de önemli unsurlardandır.

Stabilizasyon yapılan temel tabakasının parsellere ayrılarak her bir bölümde yeterli stabilizasyon işleminin gerçekleştirilmesinden sonra diğer bölüme geçilmesi ve buna bağlı kalarak stabilize edilecek bölümlerin genişliği ve uzunluğunu dengeli ve simetrik tutmak, stabilizasyonun belli başlı işlevlerindendir. Bir bölümde yeterli stabilizasyona ulaşıldıktan sonra diğer bölüme geçilmesi gerekmektedir.

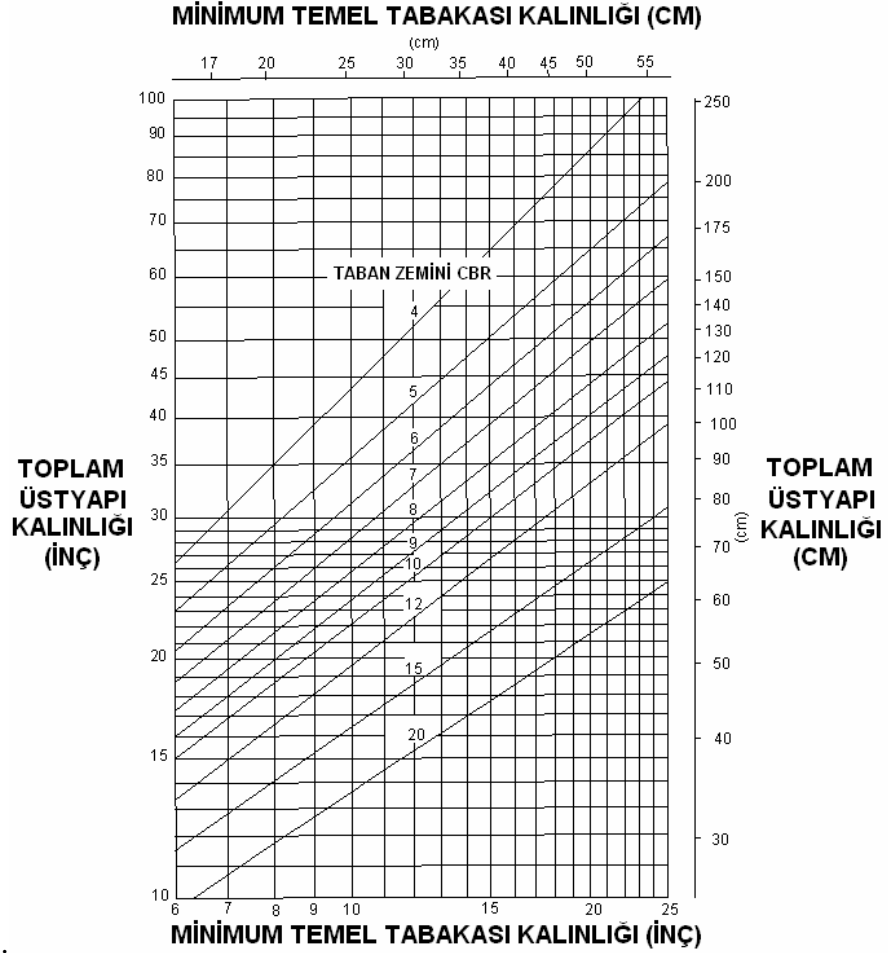
İş gününün bitimi dolayısıyla yarım kalan stabilizasyon işlemini ertesi gün devam ettirmek için biten bölüm kenarına keresteden derz yapılır ve ertesi gün bu kereste yerinden alınarak stabilizasyon işlemine devam edilir. Sıkıştırma makinelerinin boyuna doğrultuda gidip gelme hareketleri ile sıkıştırma yapmaları sağlanır ve bu şekilde istenen sıkışma yoğunluğu sağlanmış olur. Malzeme karışımlarını yayan makinelerin de, stabilize edici maddeyi ve suyu yeterli ve düzenli bir şekilde püskürtmesi ve yayması gerekmektedir. Son sıkıştırmadan sonra stabilize edilmiş temelin üzerine membran yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlem; nem oranının korunması ve mat bir yüzey elde edilmesini sağlar [1].



Şekil 5.3: Çimento Stabilizasyonu Örneği

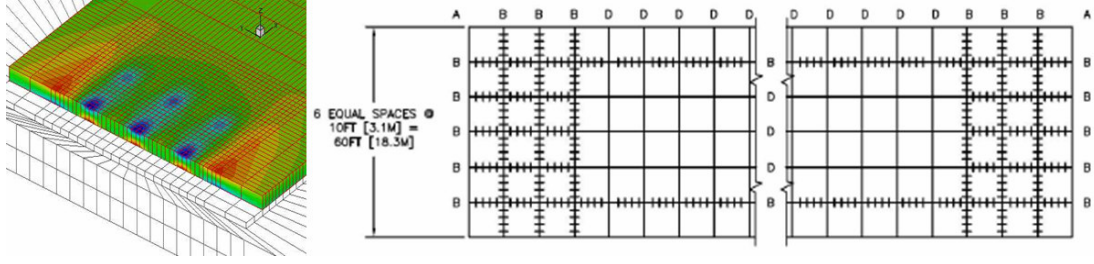
5.4 F.A.A. Üstyapı Tasarımı

A.B.D. Federal Havacılık Dairesi, esnek ve rijit üstyapıyı; kullanacak uçakların tekerlek düzeni ve ağırlıklarına göre ifade eder. Yöntem üstyapının değişik tip ve ağırlıktaki uçakları taşıyabilme kapasitesini belirtmektedir. Tasarım kalınlığının bulunmasında; araştırma ve deney sonuçları ile tasarım eğrileri hazırlanmıştır. Esnek üstyapı tasarım eğrileri CBR Yöntemine dayanmaktadır.



Şekil 5.4: Esnek Üstyapıda CBR Eğrilerine Göre Temel – Üstyapı Kalınlık Tayini

Rijit üstyapı tasarım eğrileri kenar yükleme analizine dayanmaktadır. Analize göre; üstyapı kenarlarında oluşan gerilmelerin tabaka ortasında oluşan gerilmelerden daha büyük olduğu kanıtlanmıştır. Test çalışmaları ve arazi gözlemleri, çatlakların ilk önce tabaka kenarlarında oluştuğunu daha sonra içeriye doğru ilerlediğini göstermektedir. Bu yüzden rijit üstyapıda derz tasarımı ve yapımı; üstyapı bozulmalarını ve hizmet ömrünü artırmada önemli bir yer tutar.



Şekil 5.5: Rijit Üstyapıda Beton Plak Kenarlarında Yükleme ve Derz Planı Örneği

5.5 Tahmini Yıllık Trafiğin Bulunması

F.A.A. yöntemine göre üstyapı projelendirmesi uçakların maksimum kalkış ağırlığına göre yapılır. İniş takımı düzeni, uçak ağırlığının üstyapıya nasıl etki ettiği ve üstyapının uçak yüküne nasıl tepki verdiğini belirler.

Her bir uçak için yıllık tahmini kalkış sayısı belirlenir. Yıllık kalkış sayısı ve kalkış ağırlığı bakımından üstyapıya en fazla etki eden ve üstyapı üzerinde en tesirli uçak tasarım uçağı seçilir [14].

5.5.1 Toplam Eşdeğer Yıllık Kalkış Miktarı Tahmini Örneği

F.A.A. yöntemine göre öncelikle havaalanı trafiğinde mevcut bulunan uçakların iniş takımı tipleri, tahmini yıllık kalkış sayıları ve maksimum kalkış ağırlıklarına göre gruplandırılması yapılır. Bunu takiben tahmini yıllık kalkış sayısı ve maksimum kalkış ağırlığı bakımından üstyapıya en fazla etki eden uçak tasarım uçağı seçilir. Örnekte görüldüğü gibi Boeing 727 – 200 uçağı gerek tahmini yıllık kalkış sayısı gerekte maksimum kalkış ağırlığı bakımından tasarım uçağı seçilmeye en uygun uçaktır. Boeing 747 – 100 gibi büyük yolcu uçakları ya da büyük gövdeli kargo uçakları maksimum kalkış ağırlıkları bakımından üstyapıya en çok tesir eden uçaklar olmalarına karşın tahmini yıllık kalkış sayıları bakımından korelasyon yapıldığında havaalanı üstyapı bölgeleri üzerinde B 727 – 200 kadar etkili olmadıkları görülür.

Tablo 5.4: Uçak Tipleri ve Trafik Özellikleri

Uçak	İniş Takımı Tipi	Tahmini Yıllık Kalkış	Maksimum Kalkış Ağırlığı (kg)
727 – 100	Çift	3760	72600
727 – 200	Çift	9080	86500
707 - 320B	Çift Tandem	3050	148500
DC-9-30	Çift	5800	49000
CV – 880	Çift Tandem	400	83948
737 – 200	Çift	2650	52440
L -1011-100	Çift Tandem	1710	204120
747 – 100	Duble Çift Tandem	85	317800

Tasarım uçağı B 727 – 200 çift tekerlek düzenine sahip bir uçaktır. Yöntem gereğince diğer uçakların kalkış sayıları katsayılar ile çarpılarak tekerlek düzenleri tasarım uçağının çift tekerlek düzenine getirilir.

Tablo 5.5: İniş Takımları için Dönüşüm Katsayıları

Dönüştürülecek İniş Takımı	Tasarım İniş Takımı	Kalkışlar Çarpılacak
Tek Tekerlek	Çift Tekerlek	0,8
Tek Tekerlek	Çift Tandem	0,5
Çift Tekerlek	Çift Tandem	0,6
Duble Çift Tandem	Çift Tandem	1,0
Çift Tandem	Tek Tekerlek	2,0
Çift Tandem →	Çift Tekerlek	1,7
Çift Tekerlek	Tek Tekerlek	1,3
Duble Çift Tandem →	Çift Tekerlek	1,7

Diğer uçakların yıllık kalkış miktarları tasarım uçağı cinsinden yıllık eşdeğer kalkış miktarına aşağıdaki formül ile dönüştürülür.

$$\log R_1 = \log R_2 x \left(\frac{W_2}{W_1} \right) \quad (5.1)$$

R_1 = Tasarım uçağının eşdeğer yıllık kalkış sayısı

R_2 = Tasarım uçağına dönüştürülecek uçağın yıllık kalkış sayısı

W_1 = Tasarım uçağının tekerlek yükü

W_2 = Tasarım uçağına dönüştürülecek uçağın tekerlek yüküdür.

Elde edilen değerlerin toplamı ile Yıllık Toplam Eşdeğer Kalkış Miktarı bulunur.

Tablo 5.6: Toplam Eşdeğer Yıllık Kalkış Miktarlarının Bulunuşu

Uçak	Çift Tekerlek İniş Takımlı Kalkışlar	Tek Tekerlek Yükü (kg)	Tasarım Uçağının Tekerlek Yükü (kg)	Eşdeğer Yıllık Kalkış Miktarları
727-100	3760	17240	20520	1891
727 - 200	9080	20520	20520	9080
707 - 320B	5185	17610	20520	2764
DC-9-30	5800	11630	20520	682
CV- 880	680	9940	20520	94
737-200	2650	12440	20520	463
L-1011-100	1450	16160	20520	1184
747-100	2907	16160	20520	83
TOPLAM				≈ 16 000

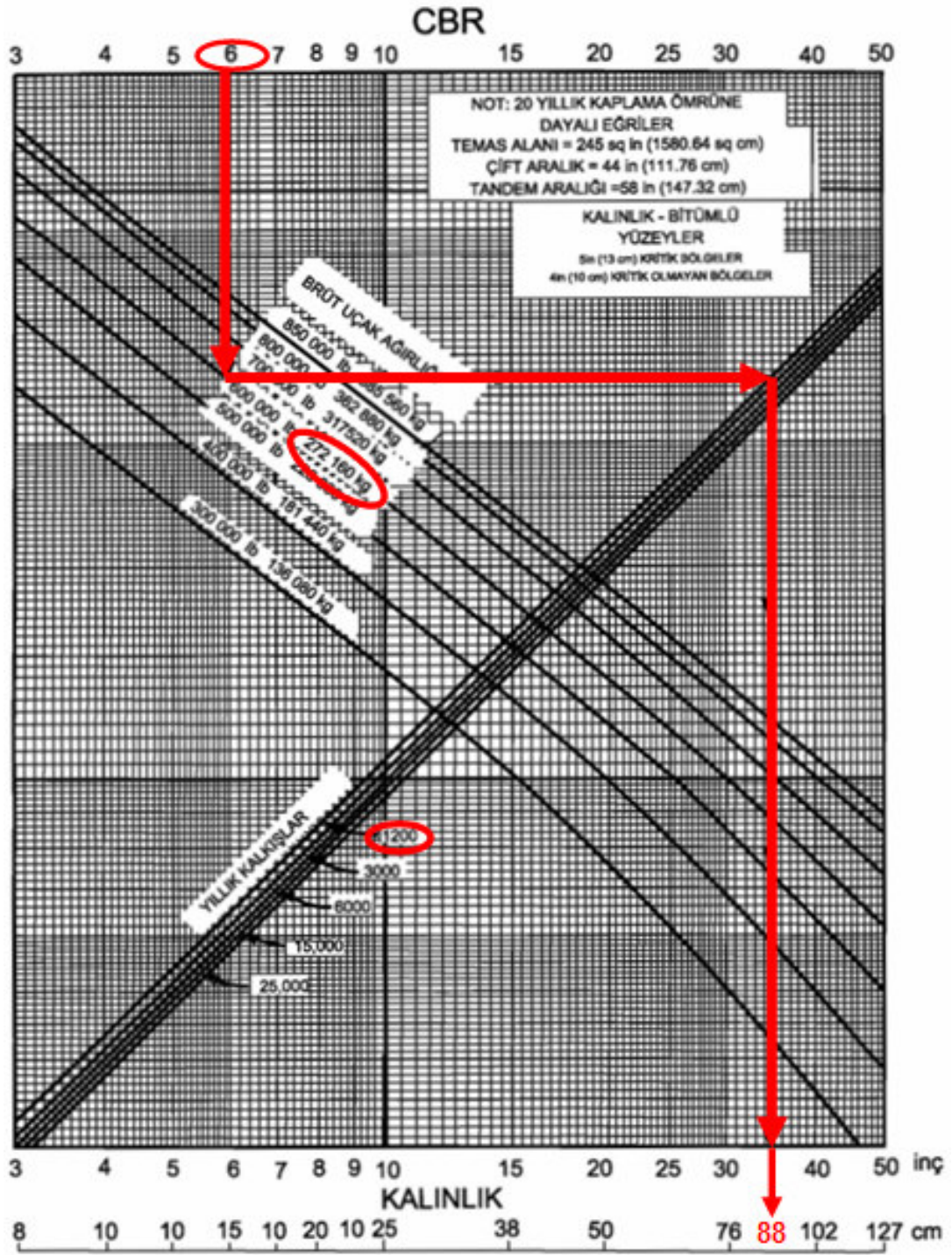
Sonuçta üstyapı tasarımı; 86 500 kg ağırlığındaki çift tekerlek iniş takımlı Boeing 727 - 200 tasarım uçağının, yıllık yaklaşık 16 000 kez kalkış sayısı için yapılır. Ancak; taban zemininin sıkıştırılma oranı, bitümlü sıcak karışım tabakası ve beton tabakanın kalınlığı, drenaj yapıları vs. dikkate alındığında tasarım, hava trafiğindeki en ağır uçağa hizmet verebilmelidir.

5.6 Esnek Üstyapı Tasarım Örneği

Tasarım Uçağı B 747–100 için;

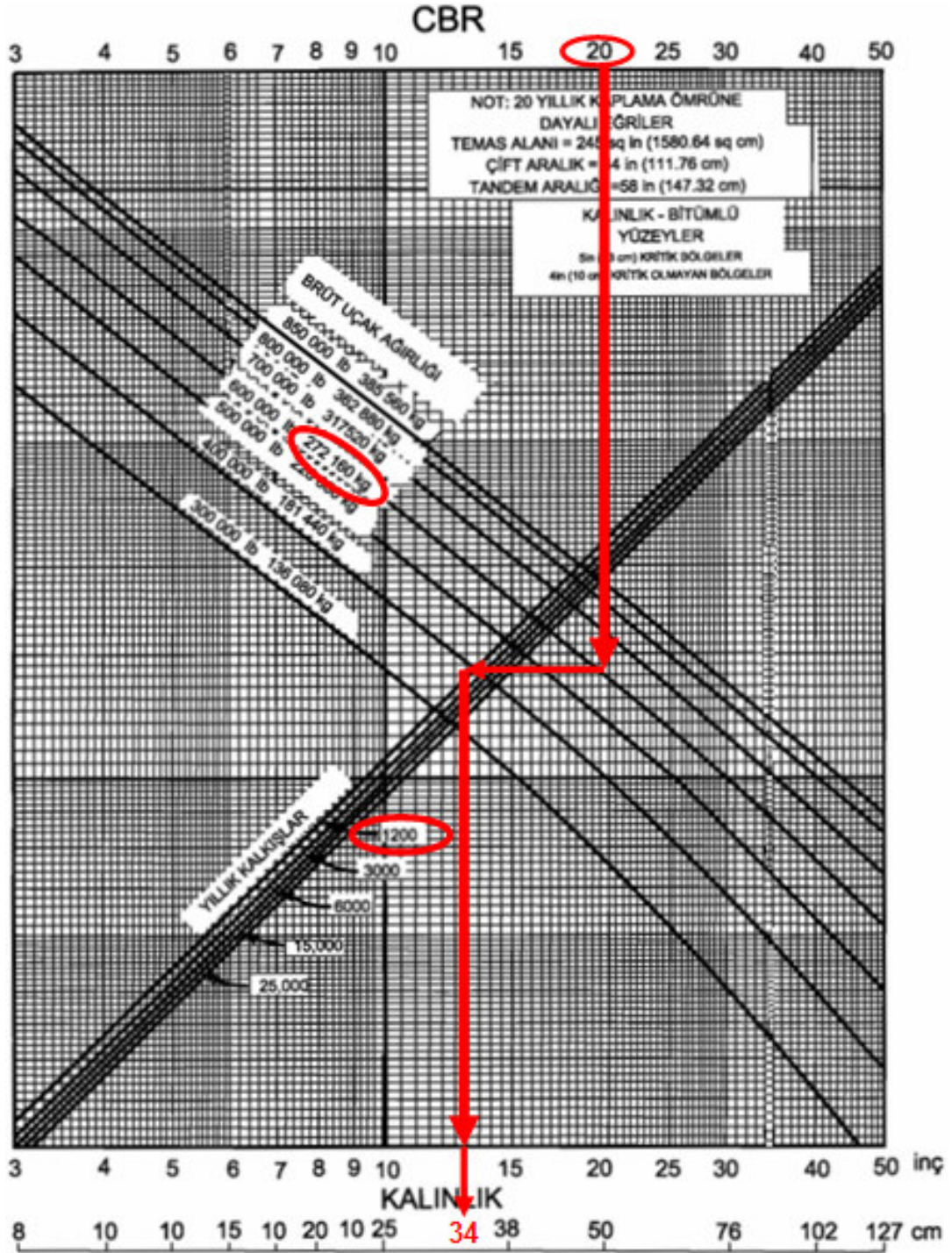
- a. Brüt Ağırlık: 272 000 kg
- b. Yıllık Kalkış Miktarı: 1200
- c. Taban zemini CBR = 6
- d. Alt temel CBR = 20 için;

Esnek üstyapıda tabaka kalınlıkları elde edinmek istenirse, F.A.A. yönteminde kullanılan esnek üstyapı geliştirilmiş grafiklerden yararlanılır. Grafiklerde taban zeminin CBR değerinden tasarım uçağının brüt ağırlığına düşey izdüşümü ile inilir ve yatay izdüşümü ile tasarım uçağı cinsinden yıllık toplam eşdeğer kalkış miktarına ulaşılır. Son olarak düşey izdüşümü ile toplam esnek üstyapı kalınlığı belirlenir.



Şekil 5.6: Toplam Esnek Üstyapı Kalınlığının Bulunuşu

Örnekte verilen değerler için toplam üstyapı kalınlığı = 88 cm bulunur. Aynı grafikte önceki işlemleri uygulayarak alt temel CBR = % 20 için ise toplam temel kalınlığı = 34 cm bulunur.



Şekil 5.7: Toplam Temel Kalınlığının Bulunuşu

Bulunan bu kalınlık (34 cm) temel + bitümlü sıcak karışım tabaka kalınlığıdır. Bitümlü sıcak karışım tabaka kalınlığı 8 ~ 10 cm alınır. Temel kalınlığı: $34 - 10 = 24$ cm bulunur. Alt temel kalınlığı: $88 - 34 = 54$ cm bulunur.

Rijit Üstyapı Projelendirilmesinde ise dört değişkene ihtiyaç vardır; betonun dayanım mukavemeti, taban zemini modülü, yıllık tahmini kalkış sayısı ve uçak ağırlığı.

Üstyapı tasarımında kullanılan proje eğrileri yalnızca beton tabaka kalınlığını verir, temel kalınlığı ayrı olarak hesaplanır. Taban zemini modülü, plaka yükleme deneyi ile bulunur.

Temel tabakası olarak; bitümlü temel, kırmataş temel veya çimento katkılı temel kullanılabilir. Ağırlığı 45 300 kg dan fazla olan uçaklara hizmet verecek üstyapılarda katkılı temel tabakası kullanılır. Katkılı temel tabakaları, iyi granülometrilili kırmataş tabakasına kıyasla 2 kat daha fazla taşıma kapasitesine sahip olduğu varsayılır.

5.7 Betonun gerilmeye karşı dayanıklılığı

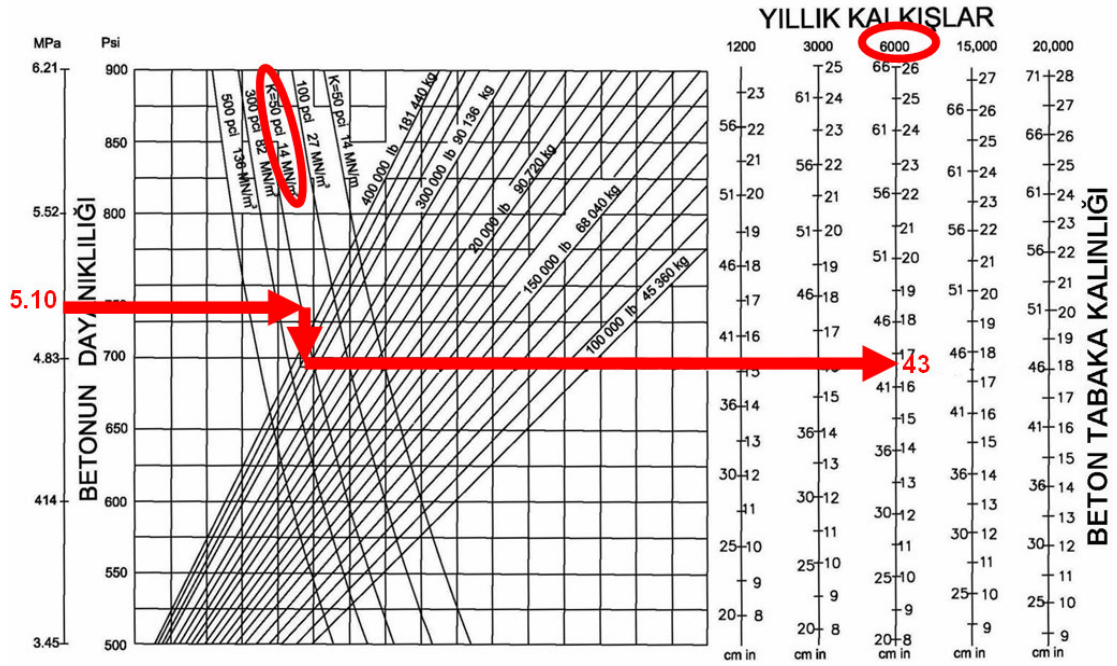
Beton üstyapı için gerekli kalınlık, üstyapıda kullanılan betonun dayanıklılığına bağlıdır. Beton dayanıklılığı, beton bir üstyapı tabakasının temel özelliği gerilme olduğu için, gerilmeye karşı dayanıklılığı açısından değerlendirilir. Betonun gerilmeye karşı dayanıklılığı, ASTM C – 78 test metodu ile belirlenmelidir. Normal olarak tasarım için 90 günlük bir dayanıklılığının 28 günlük bir dayanıklılıktan %10 daha yüksek olacağı kabul edilebilir.

5.8 Rijit Üstyapı Tasarım Örneği

Çift tandem iniş takımlı tasarım uçağı için;

- a. Yıllık tahmini kalkış sayısı = 6000
- b. Ağırlık = 160 000 kg
- c. Taban zemini modülü (k) = 14 MN / M³ (50 psi)

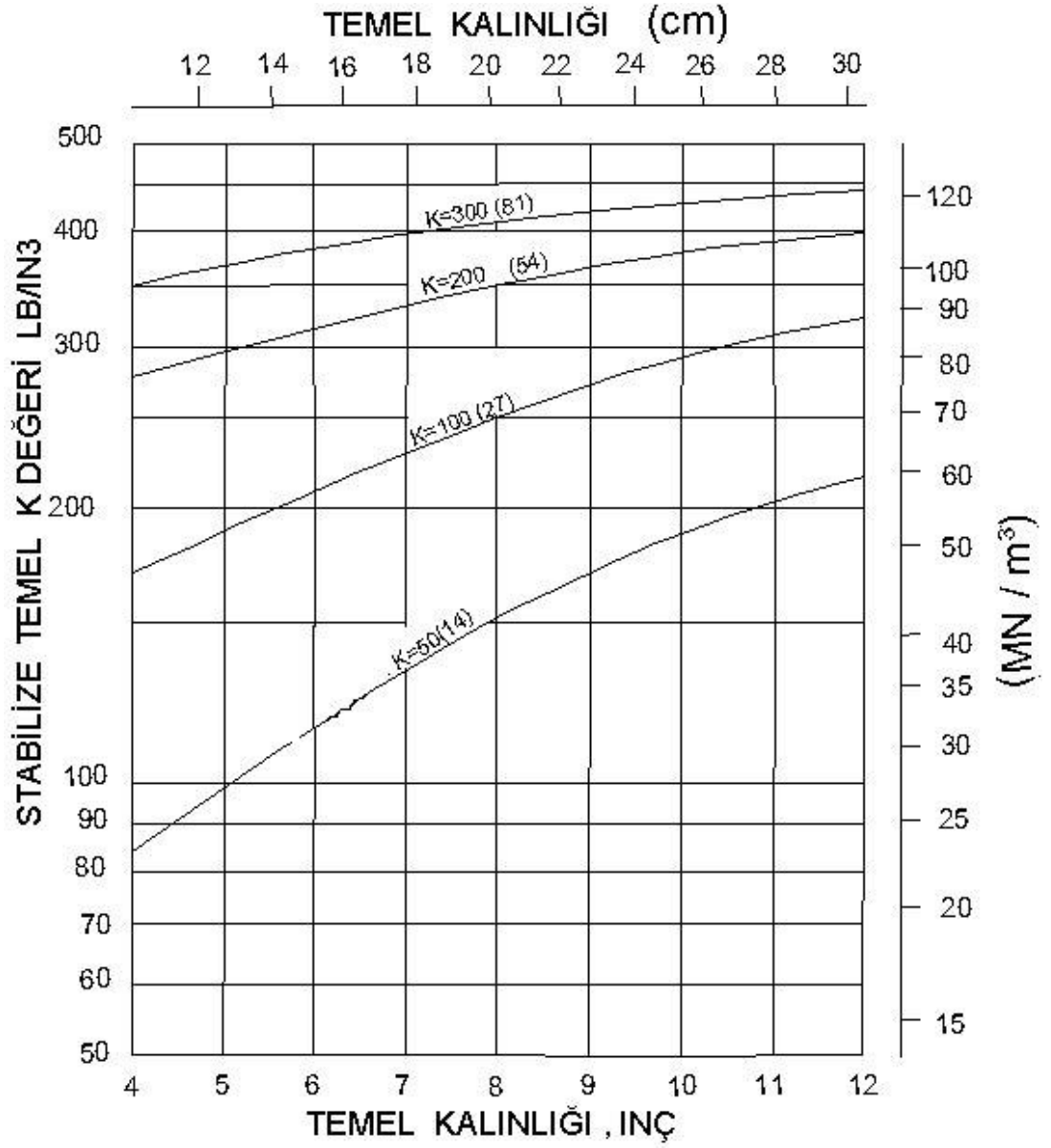
Beton dayanımı = 520 055 kg / m² (5.10 Mpa – 740 Psi) için, beton tabaka kalınlığını bulmak için, tasarım grafiklerinden rijit üstyapı yapı için yapılan grafiklerden yararlanılır. Grafikte betonun dayanım değerinden yatay izdüşümü ile rijit üstyapı için taban zemini taşıma gücü modülü K değerine oradan da düşey izdüşümü ile tasarım uçağının brüt ağırlığına ulaşılır. Son olarak ta yatay izdüşümü ile verilen tahmini toplam yıllık eşdeğer kalkış sayısına gidilerek beton tabaka kalınlığı elde edilmiş olur.



Şekil 5.8: Rijit Üstyapıda Beton Tabaka Kalınlık Tayini

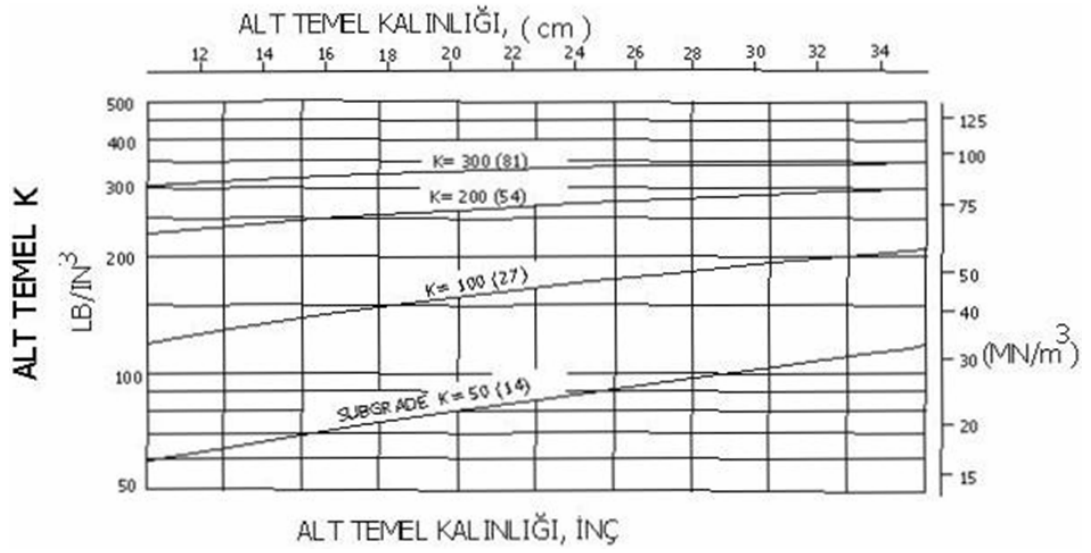
Örnek için verilen değerlere göre grafikten 43 cm lik bir beton üstyapı yüzey tabakası elde edilir. Bulunan bu kalınlık sadece beton plağın kalınlığıdır. Temel ve alttemel tabaka kalınlıkları ise başka grafiklerden elde edilir.

Tasarım uçağının ağırlığı stabilize temel kullanılmasını gerektirmektedir. (160 000 kg > 45 300 kg) Bu sebeple kullanılacak temel malzemesi seçimi için en uygun ve ekonomik çözüm yolu, farklı malzemeler için stabilize temel kalınlıkları ve taşıma güçleri arasında korelasyon yapılarak birkaç kalınlık denenmesi ve bu şekilde optimum kalınlık elde etmektir. Bu konuda F.A.A. nın hazırladığı bir çok grafik vardır ve bu grafiklerden yararlanarak taban zemini taşıma gücü eğrileri ile birlikte stabilize temel malzemelerinin üstyapı taşıma gücüne etkisinden yararlanarak optimum temel tabakası kalınlığını elde etmek mümkündür.



Şekil 5.9: Temel Tabakası Kalınlık Saptama

Alt temel tabaka kalınlıkları içinde aynı şekilde seçilecek malzemenin üstyapı taşıma gücüne etkisi ve farklı kalınlıklar için taşıma gücündeki değişim göz önüne alınarak kalınlık tasarımı yapılır.

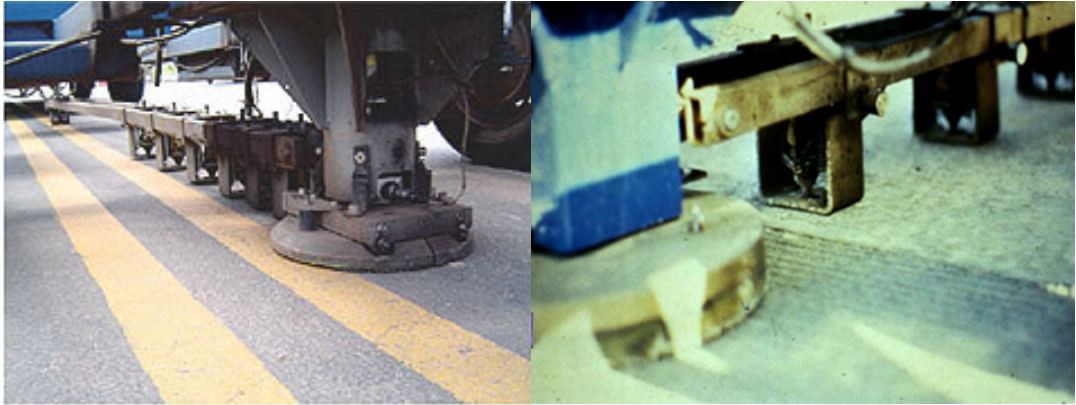


Şekil 5.10: Alt Temel Tabakası Kalınlık Saptama

6. DİNAMİK YÖNTEMLER

Bu yöntemler taşınabilecek ve üstyapı üzerine indirilecek şekilde araç ya da treyler üzerine monte edilen dinamik bir yükleme cihazı içermektedir. Üstyapı tasarımında, üstyapı yüzey tabakası yüzeyine ya da yük plakası üzerine yerleştirildiklerinde dikey yer değişikliklerini (yıpranma) ölçebilen sabit aletlerden (sensörler) faydalanılır. Testlerin çoğu üstyapı yüzey tabakası üzerine dinamik yük uygulayarak ve düşey deformasyonları ölçerek, üstyapıda yük-deformasyon ilişkisini belirlerler.

Uygulanan yük ile ölçülen yer değişikliğinin kıyaslanması, test edilen üstyapı yüzey tabakasının yük-yıpranma ilişkisini verir. Yer değişiklikleri daima doğrudan yükün altında ölçülmekle beraber, yük merkezinden belli bir uzaklıkta bulunan çeşitli ilave noktalarda da ölçülürler. Böylelikle, yük yıpranma ilişkisi sadece yük eksenini (maksimum yıpranma noktası) için değil, yıpranma bölgesindeki denge noktalarında da belirlenir. Bir sensörden diğerine geçmek için gerekli olan dinamik yük tarafından ortaya çıkarılan gerilme dalgaları için zamanı ölçmek ve bu zamanla sensörlerle arasındaki mesafeden hızı hesaplamak mümkündür [12].



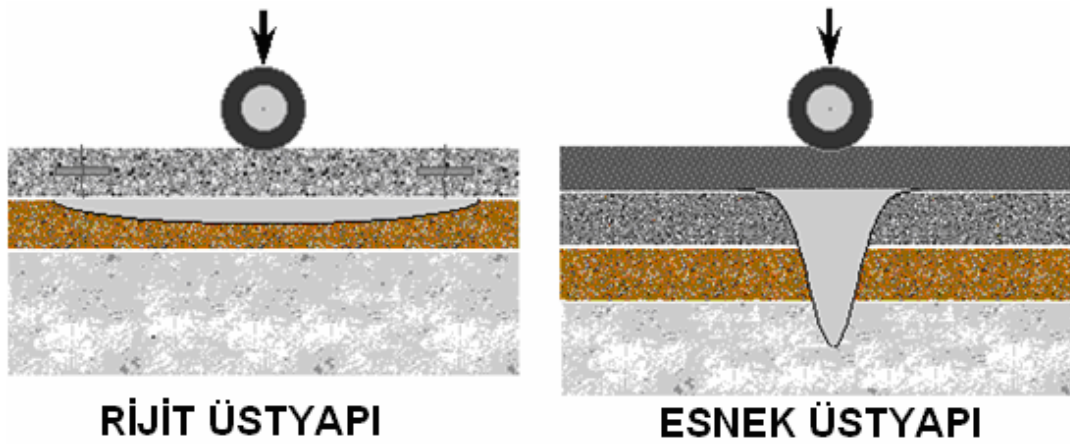
Şekil 6.1: Dynatest FWD de sensörler

Bazı dinamik yöntemler, çeşitli tasarım yöntemlerinde kullanılmak üzere zemin ve üstyapı tabakaları için yükleme karşı dayanımını değerlendirmek için bu hız ölçümlerinden faydalanırlar. Dinamik yük altında ölçülen deformasyon bilgilerini kullanarak tabakaların elastisite modülleri, poisson oranları ve kalınlık değerleri hakkında bilgiler elde edilir. Bilgisayar programlarının desteği ile esnek, rijit ve kompozit üstyapı tabakaları için çeşitli noktalarda ölçülen deformasyon değerlerine göre teorik üstyapı modellemeleri yapılır.



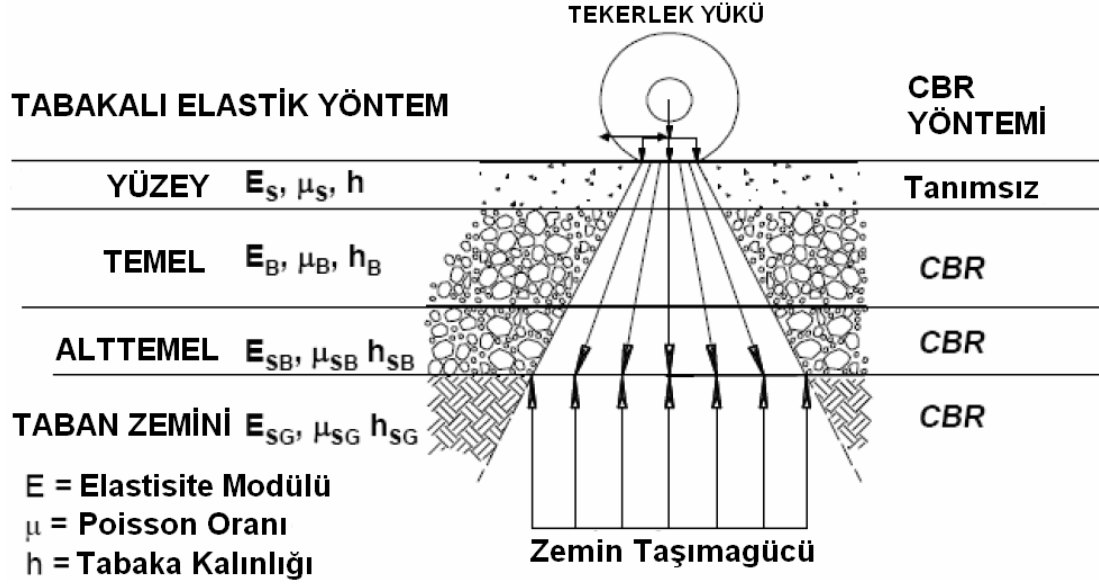
Şekil 6.2: Sismik Üstyapı Analiz Cihazı ve FWD

Üstyapının dinamik yüke verdiği tepkideki yükleme – deformasyon ve üstyapı davranışı arasında doğrudan korelasyonlar kurulur. Davranışı tespit edilebilecek olan üstyapı; dinamik yük testinden yola çıkılarak geliştirilir. Yük Ekseninin denge noktalarına yerleştirilen sensörlerden elde edilen verilerle; üstyapının yük dağıtma özelliğini yansıtmak için analizler yapılarak, üstyapının yükleme – deformasyon ilişkisi belirlenir [14].



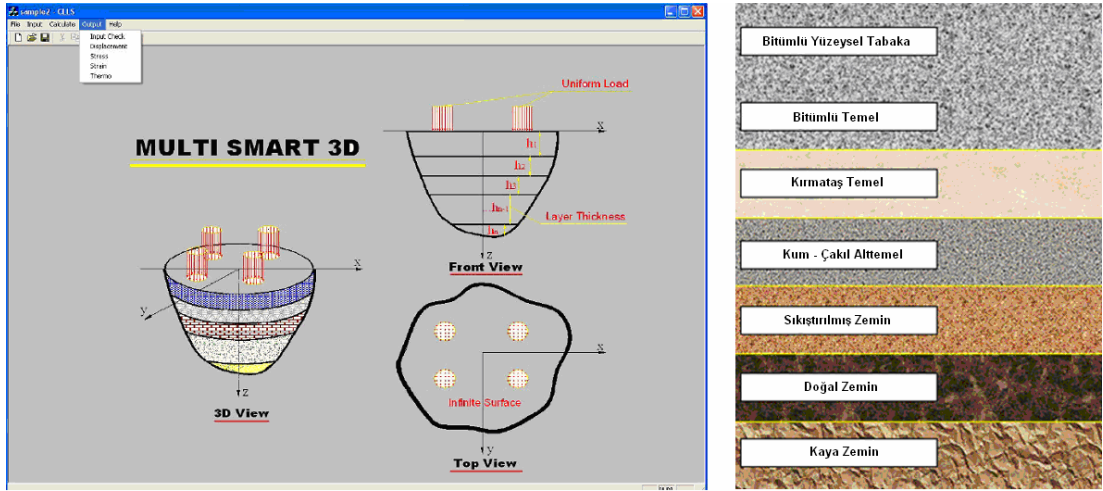
Şekil 6.3: Rijit ve Esnek Üstyapıda Yük Dağılımı

Dinamik yük altında ölçülen deformasyonlar, üstyapı için zeminin karakteristik özelliklerini belirlemek için kullanılır. Diğer tabakalar için elastisite modülü ve Poisson oranları, testler aracılığıyla belirlenir. Yük etkisinde ölçülen deformasyonlara uygun tasarlanan esnek üstyapı modeli, yaygın olarak çok tabakalı elastik teoriye uygun olarak tasarlanır.



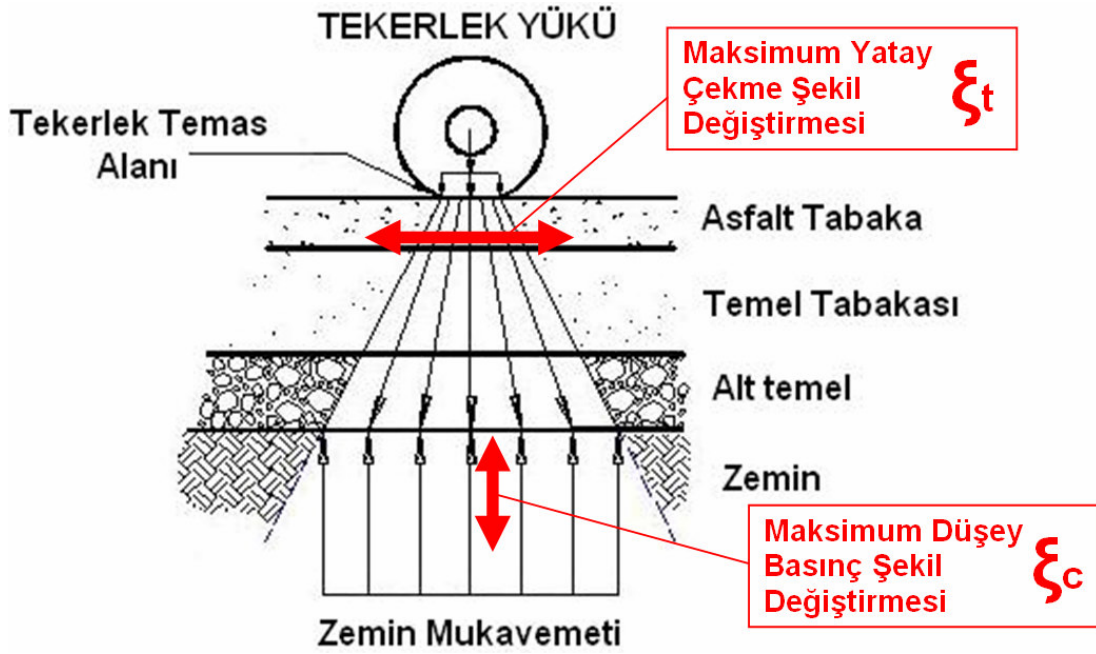
Şekil 6.4: Tabakalı Elastik Sistem (Esnek Üstyapı)

En son gelişmeler, çok tabakalı esnek üstyapı sistemlerine uygun bilgisayar programlarının kullanılmasını da kapsamaktadır. Uygulanan yaklaşık bir yükle, deformasyonlar bir merkez ve çeşitli denge noktalarında ölçülürler. Daha sonra, modellenen üstyapının tabakalarının elastisite modüllerini belirlemek için test cihazları kullanılır [5].



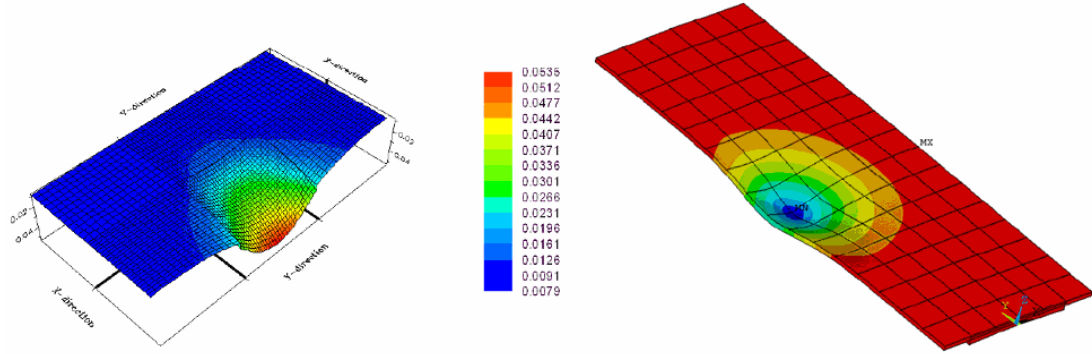
Şekil 6.5: Çok Tabakalı Elastik Sistem Tasarımında Kullanılan Bir Yazılım

Elastisite modülleri ve poisson oranları belirlenen üstyapı modellemeleri, yükün hemen altındaki üstyapı yüzey tabakasının bükülmesindeki zorlamayı ve üstyapı tabakalarının altındaki doğal zeminin üst kısmındaki dikey zorlamayı hesaplamakta kullanılır. Bu bölgeler esnek üstyapılar için kritik kabul edilirler. Rijit üstyapıda beton plaktaki bükülmeye görülen gerilme ve zorlama da benzer şekilde hesaplanabilir [6].



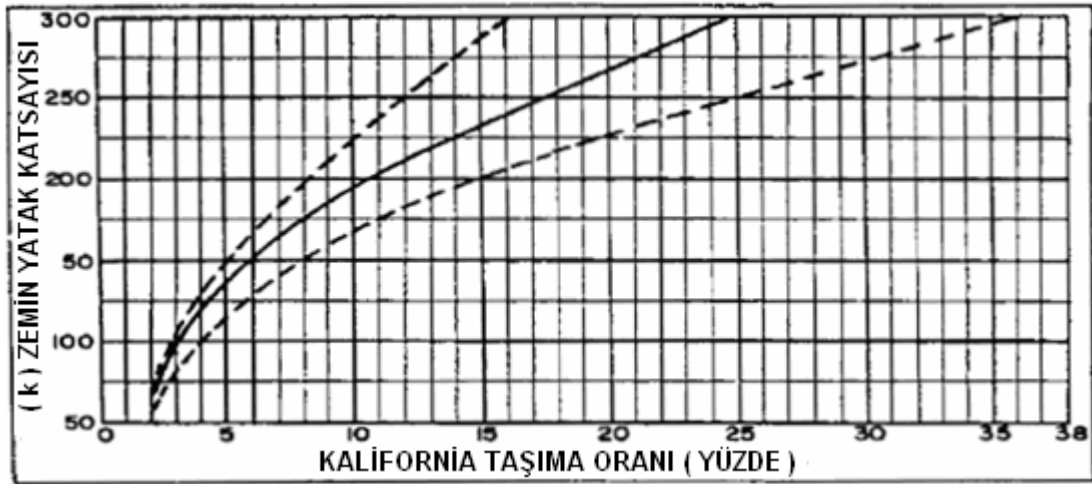
Şekil 6.6: Esnek Üstyapıda Kritik Bölgeler

Rijit üstyapıda beton plaktaki deformasyonlarda görülen gerilme ve şekil değiştirme miktarları test cihazları ve yazılımlar yardımıyla benzer şekilde hesaplanabilir.



Şekil 6.7: Rijit Üstyapıda Yükleme - Deformasyon Hesabının Yazılım ile Ölçümü

Üstyapı yüzey tabakası özelliklerini belirlemek için gerilme – dalga hızı ölçümleri kullanılır. Üstyapı yüzey tabakalarının elastisite modülleri bu ölçümlerden çıkarılır ve teorik modellerde doğrudan kullanılır ya da modellerde kullanılan daha büyük gerilmeler sonucu modülleri daha iyi temsil etmeleri için ayarlanırlar. CBR değerleri, **CBR** ile genellikle Mpa ($1 \text{ Mpa} = 101\,971.5 \text{ kg / m}^2$) olarak $E = 10 \times \text{CBR}$ 'den türetilen elastisite modüllerinin arasındaki korelasyondan türetilir. Taban zemini modülü **K** değeri de benzer şekilde türetilir.



Şekil 6.8: CBR Değerleri ile k Taban Zemini Modülü Arasındaki Oran

6.1 (NDT) Yıkıcı Olmayan Değerlendirme Yöntemi

Dinamik Yöntemlerde havaalanı üstyapı sistemlerinin yük taşıma kapasiteleri, yıkıcı olmayan test (Non - Destructive Test) teknikleri kullanılarak belirlenir. Cihazlar ve test aletleri; A.B.D. Federal Havacılık Dairesi (F.A.A.) ve Amerikan Hava Kuvvetlerinin, havaalanlarındaki çalışmalara minimum düzeyde müdahale ederek üstyapı sistemlerini çabuk ve hızlı bir şekilde değerlendirme ihtiyacına cevap vermek için geliştirilmiştir. 1950'lerin ortalarında Royal Dutch Shell Laboratory (Shell Hollanda Kraliyet Laboratuvarı) araştırmacılarının, esnek üstyapıları değerlendirmek için titreşimli yükleme cihazlarıyla ilgili araştırmaları başlayıncaya kadar, NDT alanında çok az araştırma yapılmıştı. O günden sonra pek çok kuruluş üstyapıları değerlendirmek için NDT tekniklerinden faydalanma imkanlarını araştırdılar. ABD Kara Kuvvetleri Mühendislik Birliği Suyolları Deney İstasyonu (WES), 1950 ve 1960'lı yıllarda titreşimli cihazların çeşitli tiplerini kullanarak küçük çaplı bir araştırma yürüttü. WES çalışmalarının çoğunda, dalga yayılma ölçütlerini kullanarak, üstyapı malzemelerinin çeşitli tabakalarının elastik özelliklerini ölçme konusuna ağırlık verdi. 1970'de ordu tarafından gelişmiş bir titreşimli yük cihazı geliştirildi ve 1972'de Suyolları Deney İstasyonu (WES), FAA için bir NDT değerlendirme prosedürü geliştirme çalışmasına başladı. Daha sonra F.A.A. yaptığı araştırmalar ve çalışmalarda üstyapı sisteminin dinamik katılık modülünü (DSM) ölçmeye dayalı bir prosedür geliştirmeye ve bu değeri üstyapı performans verileriyle ilişkilendirmeye yöneldi. NDT teknikleri kullanılarak çeşitli tabakaların elastik sabitlerini ölçmek için bir sistem ve yöntem tekniğinin geliştirilmesi konusundaki çalışmalar günümüzde de halen devam etmektedir; ancak, bu yöntem henüz kabul edilebilir bir doğruluk düzeyine erişememiştir.

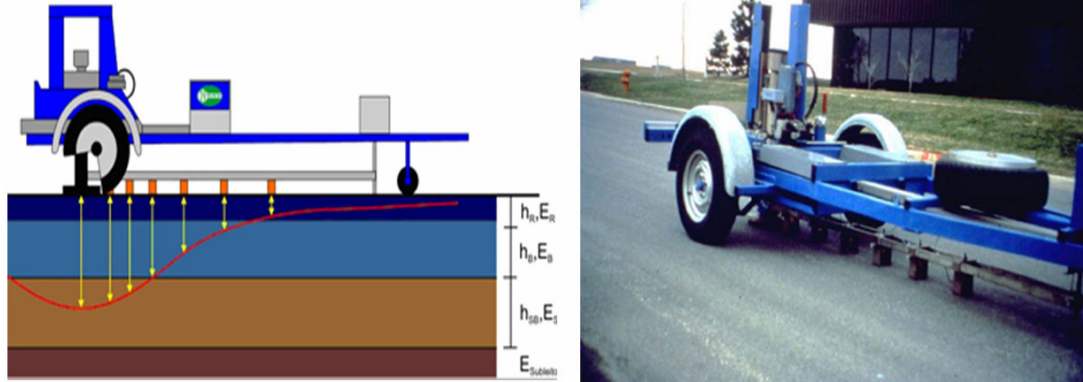
6.2 Uygulamalar

NDT değerlendirme prosedürü rijit ve esnek üstyapı sistemlerine uygulanır. NDT prosedürlerini, rijit üstyapı üzerine yapılan bitümlü sıcak karışım üstyapı yüzey tabakası ve esnek üstyapı üstüne yapılan beton plaklardan meydana gelen kompozit üstyapılar gibi diğer değişkenleri de içerisine alan üstyapı tiplerini de içerecek şekilde yaygınlaştırma konusunda çalışmalar halen devam etmektedir [14].



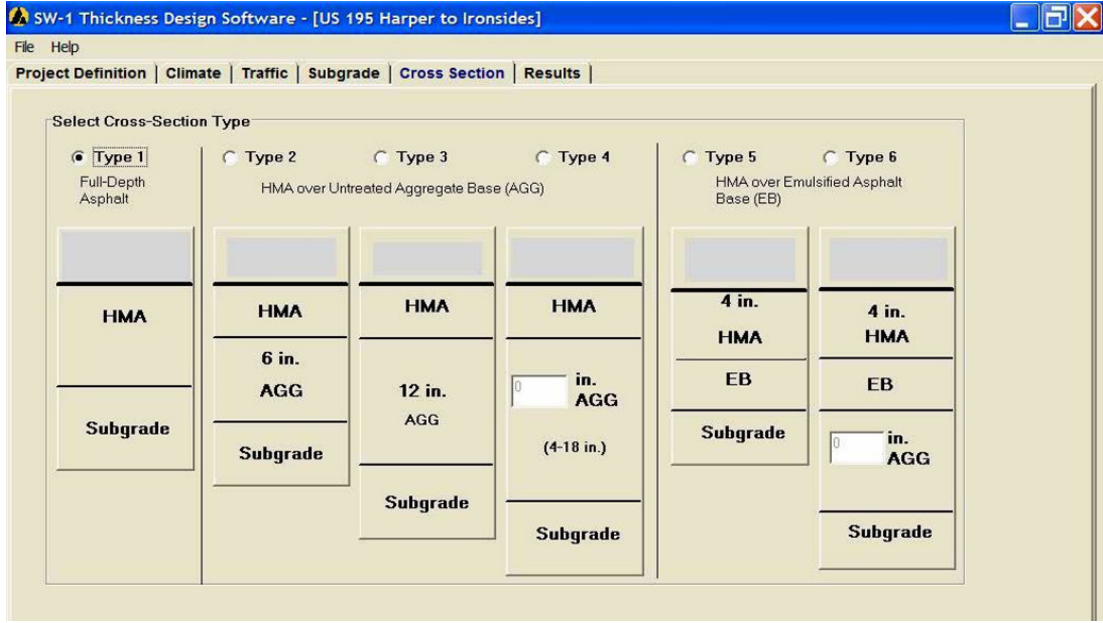
Şekil 6.9: Rijit ve Esnek Üstyapıda Kullanılan NDT Cihazları

Test cihazları, havaalanı trafiğine engel olmamak maksadıyla minimum zaman dilimi içerisinde çok sayıda testin gerçekleştirilebilmesi için, kolay taşınabilir şekilde dizayn edilmişlerdir. Üstyapı sisteminin belirli sabit titreşim yüküne verdiği tepkinin değerlendirmesini yaparak, otomatik veri kaydetme ve işleme çalışmalarını başarıyla uygularlar. Özellikle günümüzde havaalanı üstyapılarında dayanım ve taşıma gücü hesaplarında, plaka yükleme deneyi ile yürütülen eski zor ve zaman alıcı çalışmalar yerine, hızlı ve güvenli değerlendirme yapabilen “Falling Weight Deflectometer” (FWD) kullanılması daha uygundur. FWD, son teknoloji ürünü mekanik donanımı, işletim sistemi ve sahip olduğu yazılım programları ile üstyapı tasarımında veya kullanımından sonra onarıma ilişkin üstyapılarda tasarım kalınlığının tespiti için kusursuz bir test ve değerlendirme aracıdır.



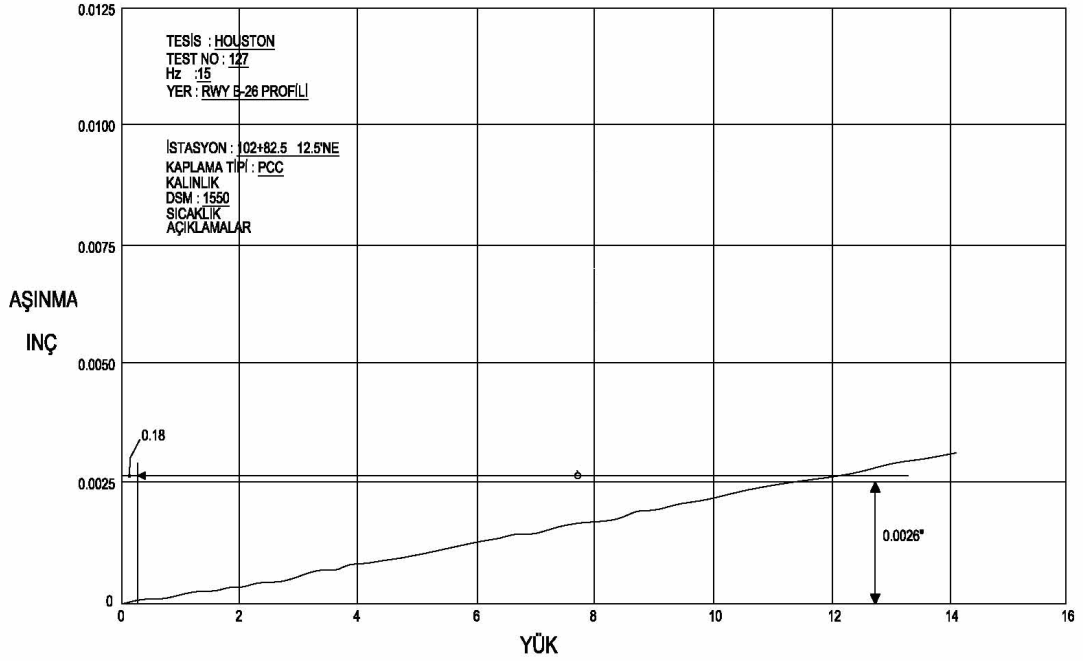
Şekil 6.10: Falling Weight Deflectometer

Dinamik yöntemlerde, üstyapı sisteminin titreşimli yüke verdiği tepki, Dinamik Katılık Modülü (DSM) ile ifade edilir. Pistlerde ve taksiyollarında DSM testleri, merkez çizgisinin her iki yanında da yaklaşık en az 75 metrede bir yapılır. Apron bölgeleri için, DSM testleri, 75 ila 150 metre arasında değişen boşluklarda yürütülür. DSM testleri sırasında üstyapı tipleri ve üstyapı yüzey tabakası bölgeleri dikkate alınır. Bundan dolayı, testte kullanılacak bilgisayar programının tasarlanmasında gerçeği yansıtan üstyapı çizimleri faydalıdır.



Şekil 6.11: Shell Asfalt Enstitüsünün Esnek Üstyapı Tasarımında Kullandığı Yazılım

DSM testleri gerçekleştirildikten ve üstyapı tipi ve yapısına göre gruplandırıldıktan sonra, uçak eşdeğer tek tekerlek yükü ve üstyapı için izin verilebilir tekerlek yükünü hesaplamak için, temsilci bir DSM değeri seçilir. Her bir test yerinde yükleme cihazı yerleştirilir ve dinamik kuvvet yükü belirli değerler arasında değiştirilir. Sensörler aracılığıyla ölçülen üstyapı yüzey tabakası yüzeyi yıpranması uygulanan yükün karşısına işaretlenir.



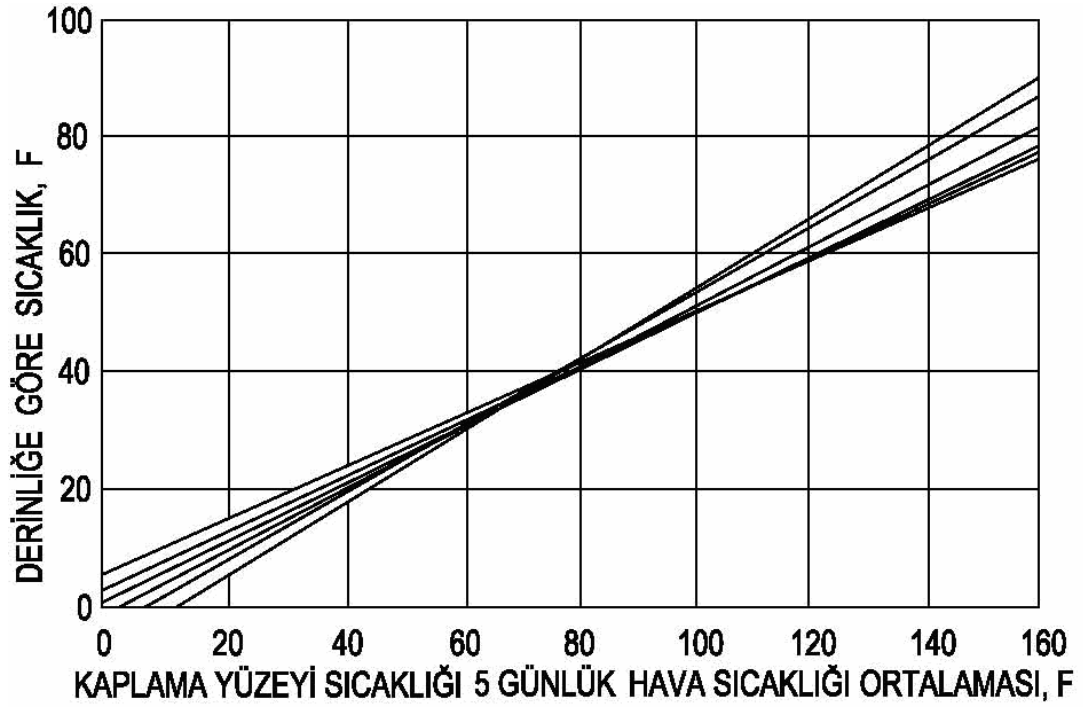
Şekil 6.12: Yük – Aşınma İlişkisi

DSM ölçümüne ilave olarak, üstyapı tipini (rijit veya esnek), üstyapıyı oluşturan tabakaların kalınlıkları ve kullanılan malzemelerin sınıflandırmasını da yapmak artık mümkün hale gelmiştir. Mevcut bir esnek üstyapı için değerlendirme yapılıyorsa, test sırasında bitümlü sıcak karışım üstyapı yüzey tabakasının sıcaklığı da tespit edilir. Bu, üst yüzeyin 2.5 cm altına, alt yüzeyin 2.5 cm üzerine ve bitümlü tabakanın derinliğinin ortasına yerleştirilen termometrelerle doğrudan ölçülmek ve ortalama üstyapı yüzey sıcaklığını elde etmek için bunların ortalamasını almak suretiyle doğrudan ya da üstyapı yüzey tabakası yüzey sıcaklığı ile hava sıcaklığını ölçüp ortalama üstyapı yüzey tabakası sıcaklığı hesap edilir.



Şekil 6.13: Esnek Üstyapı Sıcaklık Ölçüm Sensörleri

Bitüm malzemelerin dinamik katılık modülü, sıcaklığa yüksek oranda bağlıdır bu yüzden bitüm malzemenin test sırasındaki sıcaklığı 21 C (70 F)'den farklıysa, ölçülen DSM için test cihazlarında ayarlama yapmak gerekir.



Şekil 6.14: Esnek Üstyapıda Sıcaklık Değişimi

Bir üstyapı sisteminin DSM ve yük taşıma kapasitesi; özellikle buzlanma olduğu zamanlarda önemli ölçüde değişikliğe uğrar. Üstyapının buzlanmadan etkilenen tabakalarındaki buzlanma penetrasyonu ve malzemelerin donma ve çözülme etkisi bu değişikliğe önemli ölçüde tesir eder. Bu durum bilgisayar programlarında düzeltilmeye çalışılsa da, bu şartları dikkate alan düzeltme faktörleri, aygıt ve teçhizat henüz geliştirilmemiştir. Bundan dolayı, değerlendirme normal sıcaklık şartlarına göre yapılır ve buzlanmanın değerlendirilmesi gerekirse, DSM buzların çözüldüğü dönemde belirlenir.

Değerlendirilecek olan her bir mevcut üstyapı grubu için temsili bir DSM seçilmelidir. Her ne kadar bir üstyapı bölümü aynı tipte ve yapıda olsa da, üstyapının bir bölümünde ölçülen DSM değerleri, diğer bir bölümden önemli ölçüde farklılık gösteriyorsa burası kompozit üstyapı tipi gibi değerlendirilir.

DSM ölçümlerinin belirlenmesi ve düzeltilmesinden sonra, değerlendirme prosedürü ile üstyapı tipinin rijit veya esnek oluşuna bağlı olarak izin verilebilir uçak yükü belirlenir.

6.3 Havaalanı Üstyapı Test Makinesi

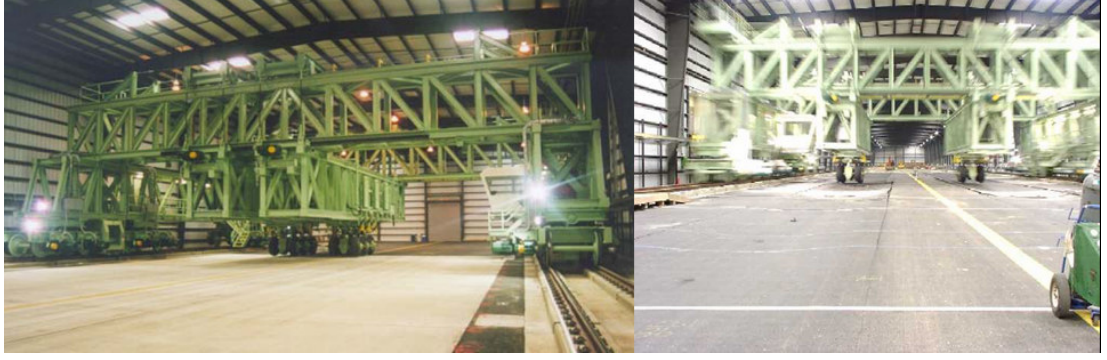
F.A.A.'nın araştırma – geliştirme çalışmalarında kullandığı ve analitik yöntemle geçiş konumunda faaliyete geçirdiği bir üstyapı test cihazı olan Havaalanı Üstyapı Test Makinesi; pist, apron ve taksiyolları için yapılacak olan esnek, rijit ve kompozit üstyapı sistemlerini tasarlamak ve mevcut üstyapı sistemlerini iyileştirme ve tasarlanacak yeni tabakalar ile üstyapıyı güçlendirme ve destekleme amaçlı kullanılan en kusursuz aygıtlardan biridir.



Şekil 6.15: Havaalanı Üstyapı Test Makinesi

Bir hangarın içinde haftalık ve aylık periyotlarla düzenli test ve deney yapılmasına olanak sağlayan makine, tasarlanacak olan havaalanı üstyapılarının örnekleri, modellemeleri ve tip en kesitleri üzerine; havaalanı trafiğine tahmini olarak katılacak uçakların toplam ağırlıklarını temsil edecek eşdeğer yükler uygulayarak, üstyapıda meydana gelecek gerilme ve deformasyonların ve üstyapı taşıma gücünün yeterliliği hakkında eksiksiz veriler elde edilmesine olanak vermektedir.

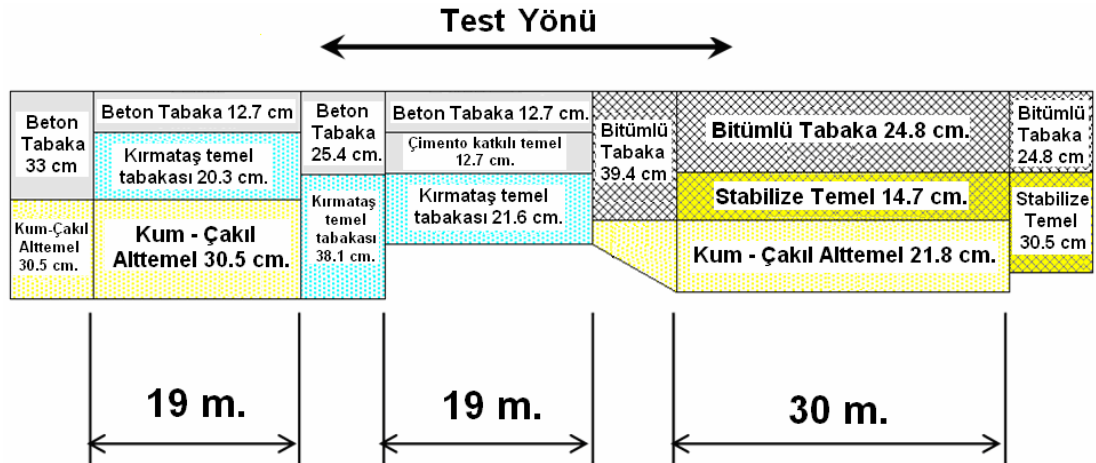
Makinede kullanılan tekerlek sayıları ve düzenleri değiştirilerek, farklı uçakların iniş takımı ve düzenlerine dönüştürülür ve bu şekilde farklı iniş takımlarına göre yükleme kombinezonları uygulayarak üstyapıya etki edecek bütün uçaklara göre tasarım yapma imkanı sağlanmış olur.



Şekil 6.16: Havaalanı Üstyapı Test Makinesinde İniş Takımı Düzenleri

Bu şekilde F.A.A. Yönteminde da kullanılan bütün uçakları temsil eden bir tasarım uçağını belirleme fonksiyonu ve bu uçağa karşılık gelecek optimum üstyapı kalınlığını belirleme çalışmaları ile hatasız ve doğru bir şekilde güvenilir sonuçlara ulaşılmaktadır.

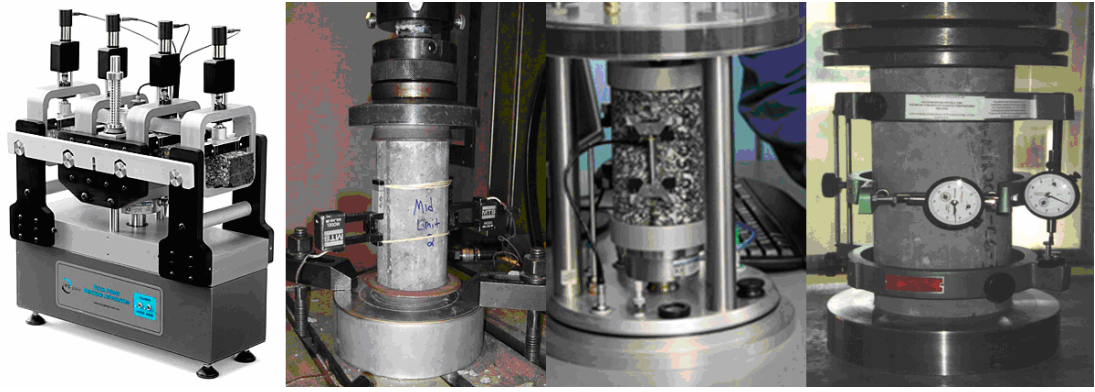
Testler makinenin içinde bulunduğu, yaklaşık 275 m. uzunluğunda ve 18 m. genişliğindeki bir hangarın içinde yapılmaktadır. 34 000 kg' a kadar temsili uçak yüklemesi yapmaktadır. Makine; statik ve dinamik yükleme yaparak, bilgisayar programları ve ilgili üstyapı yazılımları yardımıyla, çeşitli üstyapı tiplerinin yan yana getirilerek test edilmesinde ve veriler yardımıyla üstyapı tasarımı yapılmasına imkan vermektedir.



Şekil 6.17: Havaalanı Üstyapı Test Makinesinin Test Ettiği Karışık Üstyapı Tip Enkesitlerinden Oluşan Bir Üstyapı Modeli

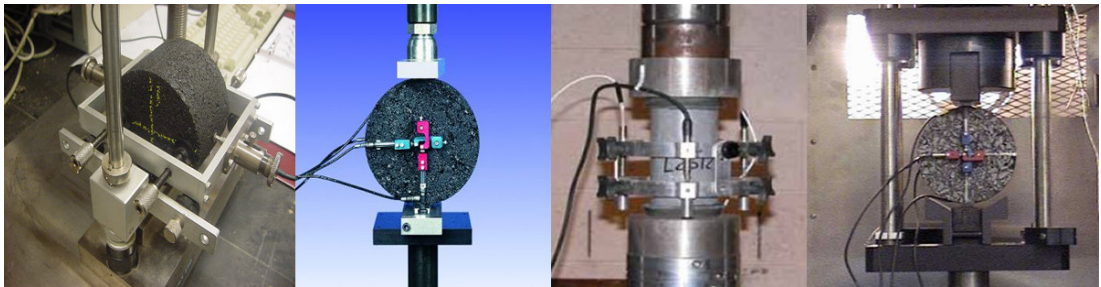
6.4 Temel Test ve Deneyler

Havaalanı üstyapılarında kullanılan malzemelerin karakteristik özelliklerini belirlemek için birçok test yapılır. Üstyapıda kullanılan malzemelerin numunelerine yapılan testler ile ve elde edilen veriler ile havaalanı üstyapılarının performansını artırmak mümkündür. Malzeme numunelerine uygulanan testler ve prosedürler standartlaştırılıp, elde edilen sonuçlar ile sınır değerlere belirlenmiş ve numunelerin karakteristik özelliklerinin bu sınır değerlere göre ayarlanması sağlanmıştır. Numuneler uygulanan çeşitli yükleme ve deformasyon etkilerine maruz bırakılarak, bu etkiler karşısında karakteristik özellikleri incelenir.



Şekil 6.18: Asfalt ve Beton Numunelere Uygulanan Örnek Testler

Testlerin prosedürlerine uygun yapılması arazi testlerinin ve laboratuvar ortamının doğru ayarlanması gerekmektedir. Prosedürüne uygun şekilde yapılan testler sonucu elde edilecek veriler, havaalanı üstyapı inşasında çok büyük faydalar sağlamaktadır. Testlerden elde edilen bilgiler ışığında havaalanlarındaki üstyapı bozulmalarına ve bakım – onarım, iyileştirme ve üstyapı tasarımına temel teşkil edecek çok teknik bilgiler elde edilmiş olur.



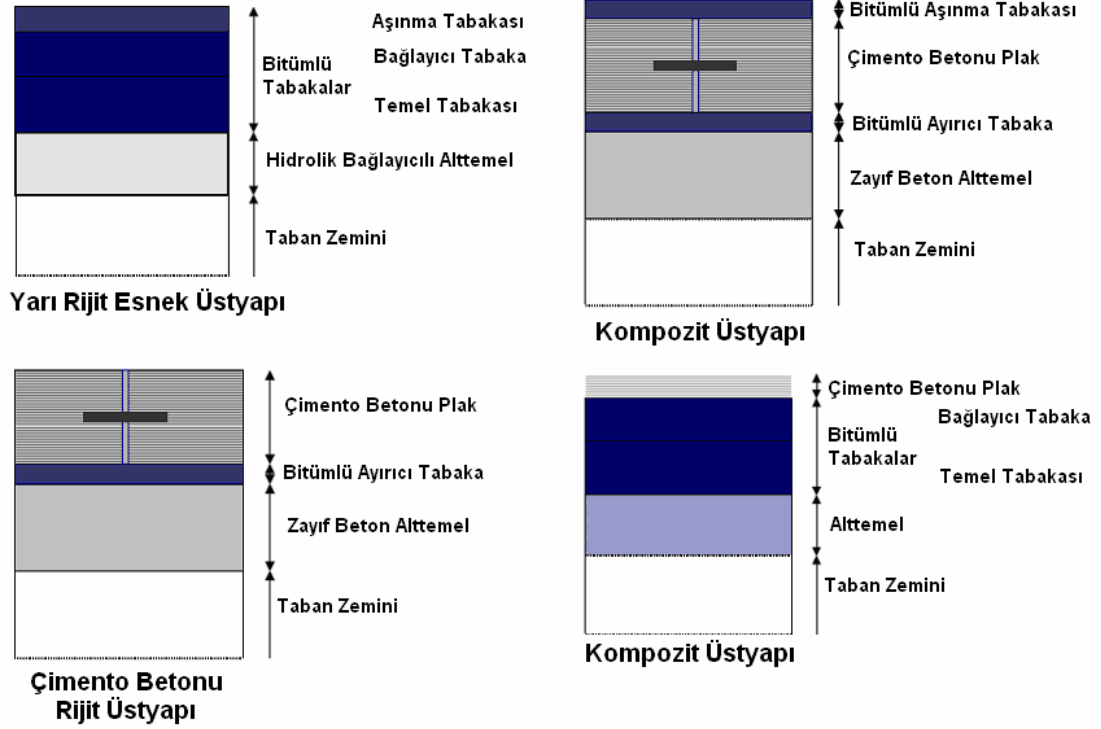
Şekil 6.19: Karakteristik Malzeme Özellikleri Deney Aletlerinden Örnekler

Tablo 6.1: Numuneler Üzerinde Uygulanan Temel Deneyler

Plaka Yükleme Deneyi	CBR Testi	Stabilometre Testi
Koheziyometre Testi	Dolaylı Gerilme Testi	Rupture Modülü
Rezilyans Modülü	Kompleks Dinamik Modül	Dinamik Rijitlik Modülü
Asfalt Karışım Rijitliği	Creep Testi	Dalga Yayılım Testi
Poisson Oranı	Yorulma Testi	Kalıcı Deformasyon
3 Eksenli Basınç	Marshall Deneyi	Kiriş Kırma

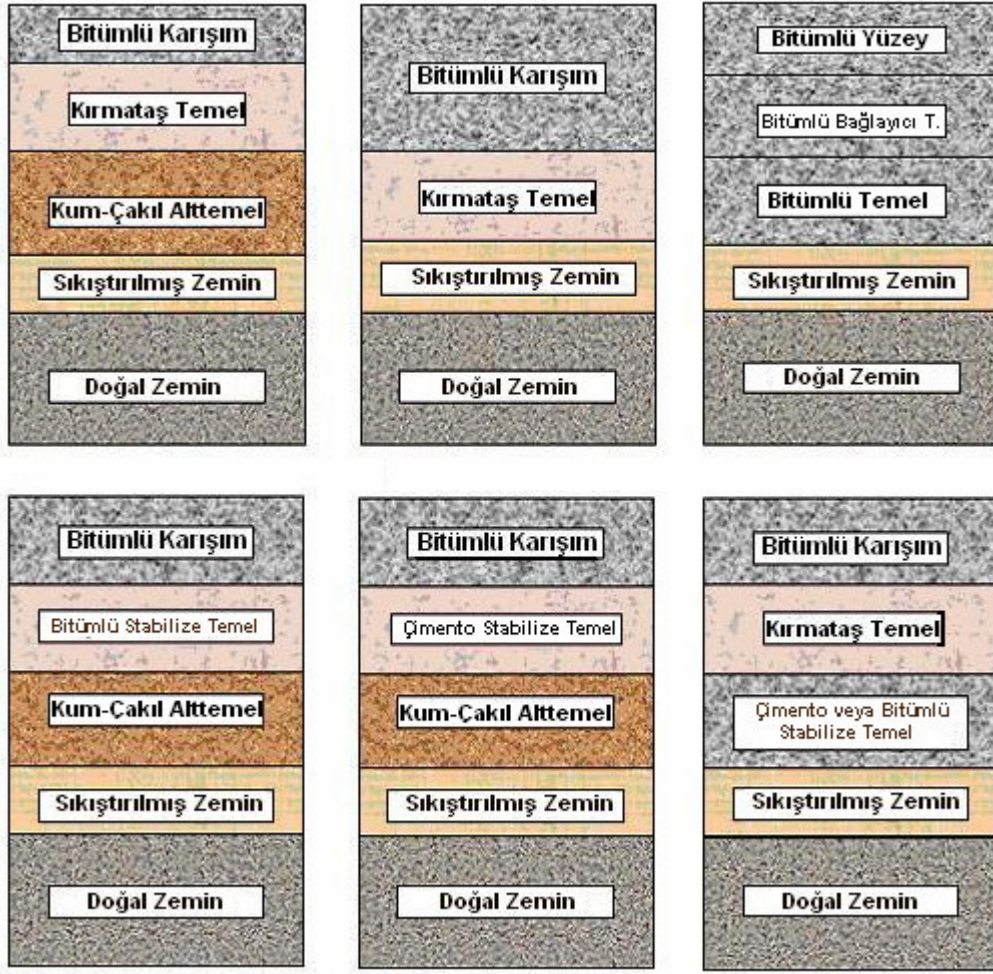
6.5 Şekil ve Sembolleme

Dinamik yöntemler de kullanılan bilgisayar programlarında incelenen üstyapıların yazılımlar üzerinde gösterimi şekiller ve semboller vasıtasıyla yapıldığında, yapılan hesaplarda ve ölçüm verilerinde bulunan değerlerde daha az hata yapma durumunun gerçekleştirildiği görülmüştür. Şekillerin üstyapı tasarımında görsel olarak üstyapıyı ifade etmesi, tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi ile daha çok ilgi görmüş ve bu konuda da araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Günümüzde kullanılan üstyapı tasarım bilgisayar programlarının çoğunda yapılan modellemeler çoğunlukla 2 boyutlu şekiller üzerinde gösterilerek değişik üstyapı tasarımları yapılmasına ve yapılan tasarımlar üzerinde hesapların daha kolay bir şekilde gerçekleştirilmesine ve şekiller üzerinde değişiklikler yapılır bir çok çeşitte üstyapı tip enkesitlerini oluşturmada büyük yarar sağlamaktadır [12].



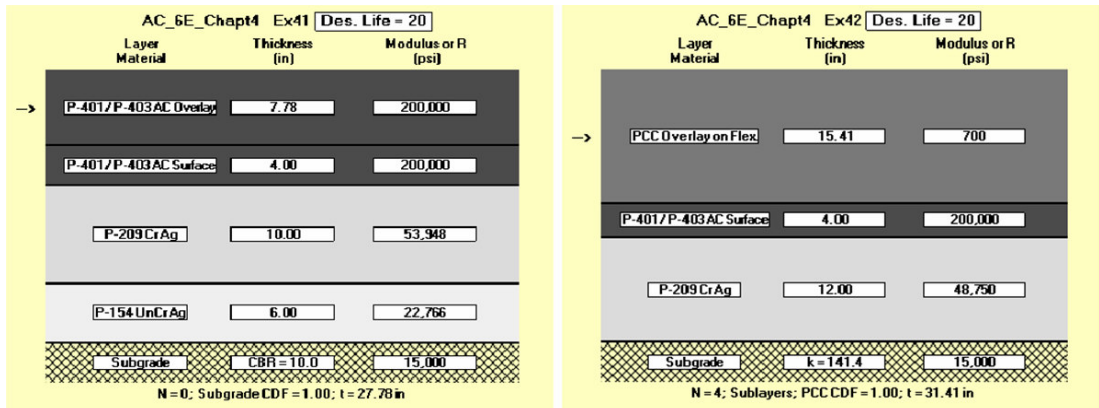
Şekil 6.20: Çeşitli Üstyapı Tiplerinin Şematik Görünümleri

Şematik gösterimlerde enkesitlerin istenildiği gibi boyutlarında değişim yapılarak tasarımda değişik tip üstyapıları denemek ve uygulamak kullanılan yazılımlar sayesinde mümkündür. Bununla birlikte tasarımda kullanılan dinamik ilkelere bağlı olarak çalışan üstyapı test cihaz ve aygıtlarında da kullanılan yazılımlar sayesinde mevcut üstyapıya yada hazırlanmış olan model üstyapı tiplerine uygulanan tasarım uçak yükleri ile elde edilecek verilerde, bu üstyapı kalınlıklarında ve tipinde değişiklik yapmayı daha fazla mümkün kılmaktadır [5].



Şekil 6.21: Esnek Üstyapıda Değişik Tip Enkesit Tasarımı Örnekleri

Rijit, esnek ve kompozit üstyapı tiplerinde tabaka ve kalınlık tasarımı yaparken oluşturulacak tip enkesit modelleri ile üstyapı tasarımının daha geniş ve kapsamlı bir şekilde yapılmasına olanak verilir.



Şekil 6.22: Bilgisayar Programı ile Değişik Tip Enkesit Tasarımı

PAT bölgelerindeki üstyapı bozulmalarını semboller ile ifade etmenin mevcut üstyapılarda bakım – onarım çalışmalarına büyük yararlar sağladığı ve iyileştirme tekniklerinde kullanılan malzeme miktarlarından elde edilen kazançlarda isabetli ve doğru rakamlara ulaşıldığı kanıtlanmıştır.

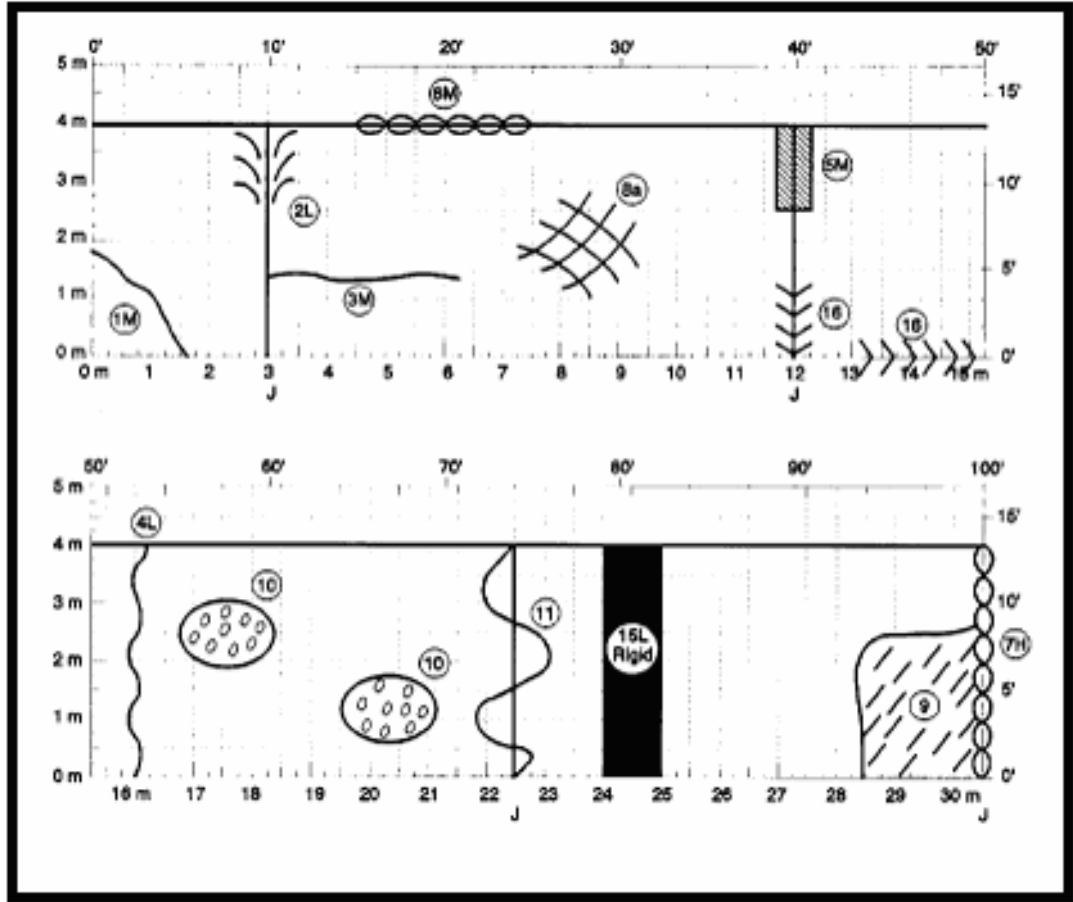
Üstyapı bozulmaları rijit ve esnek üstyapı türüne göre 2 grupta sınıflandırılıp, üstyapı bölgelerinin incelenen bir bölümünde ayrı bir şekilde belirlenen üstyapı bozulmalarını göstererek, deforme olan noktaların sembolize edilmesi ile bozulmaların bir tür haritası çıkarılmış olur. Bozulmaların pist ve diğer üstyapı bölgelerinde meydana geldiği bozulma şiddetleri de bu şekillerde gösterilerek mevcut üstyapının iyileştirilmesine veya yeni bir üstyapı tasarımı yapabilmek için gerekli olan veriler tamamen elde edilmiş olması sağlanmaktadır [12].

Distress Type	Symbol	Distress Type	Symbol
1. Corner Breaks (Number) L, M, H*		8a. Map Cracking 8b. Scaling (Square Meters)	
2. Durability "D" Cracking (Number of Affected Slabs) (Square Meters) L, M, H*		9. Polished Aggregate (Square Meters) No severity levels	
3. Longitudinal Cracking (Meters) L, M, H* S - Sealed		10. Popouts (Number) No severity levels	
4. Transverse Cracking (No. of Cracks and Length (Meters)) L, M, H*		11. Blowups (Number) No severity levels	
5a. Joint Seal Damage of Transverse Joints (Number) L, M, H*		12. Faulting of Transverse Joints and Cracks**	
5b. Joint Seal Damage of Longitudinal Joints (Meters)		13. Lane - to - Shoulder Dropoff**	
6. Spalling of Longitudinal Joints (Meters) L, M, H*		14. Lane - to - Shoulder Separation**	
7. Spalling of Transverse Joints (Number of Joints and Length (Meters)) L, M, H*		15. Patch/Patch Deterioration (Square Meters and Number) L, M, H* F - Flexible R - Rigid	
		16. Water Bleeding and Pumping (Number of Occurrences and Length of Affected Pavement (Meters)) No severity levels	

*Low, Moderate, and High severity levels.
**Not drawn on distress maps.

Symbols used in distress survey map for jointed concrete pavement.

Şekil 6.23: Rijit Üstyapıda Bozulmaların Sembolize Edilmiş Görünümü



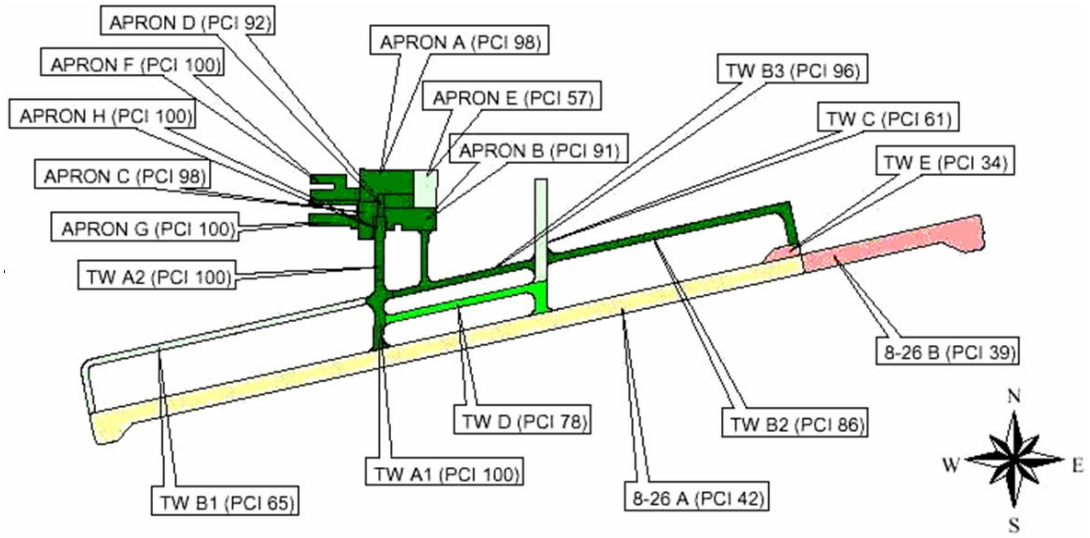
Şekil 6.24: Rijit Üstyapıda Bozulmaların Sembolik Harita Biçimi Örneği

7. CORPS OF ENGINEERS

Yöntem A.B.D. Ordusu Hava Kuvvetleri İstihkam Sınıfı tarafından kullanılmaktadır. Mevcut havaalanlarının üstyapı durumlarının değerlendirmesini, derecelendirilmesini ve yeni bir üstyapı tasarımını esas alır. Yöntem olarak içeriğinde; üstyapı durum indeksi (PCI), yapısal indeks (ACN / PCN), üstyapı yüzeysel sürtünme indeksi ve yabancı cisim hasar potansiyeli (FOD) olmak üzere 4 sistem barındırır. Havaalanı üstyapı durum değerlendirme çalışmaları; uçakların güvenli iniş – kalkış yapabilmeleri ve üstyapı performansını artırıp zamanında bakım ve onarım çalışmalarını yapmak için gereklidir. Durum değerlendirmesi; üstyapıdaki bozulmalar, yapısal kapasite, yüzeysel sürtünme ve pürüzlülük gibi üstyapı durum indekslerinden elde edilen veriler ile yapılır. Üstyapı durum değerlendirmesi yapılmadan önce yerine getirilmesi gereken önemli bir aşamada; üzerinde değerlendirilme yapılacak olan havaalanının üstyapısını kısımlara ve bölgelere ayırmaktır. Yöntem, Corps of Engineers – CBR Yönteminden tamamen farklı bir sistemdir. Mevcut havaalanı üstyapılarının iyileştirilmesi ve tasarımı üzerine kurulmuştur [9].

7.1 Üstyapı Ağının Belirlenmesi

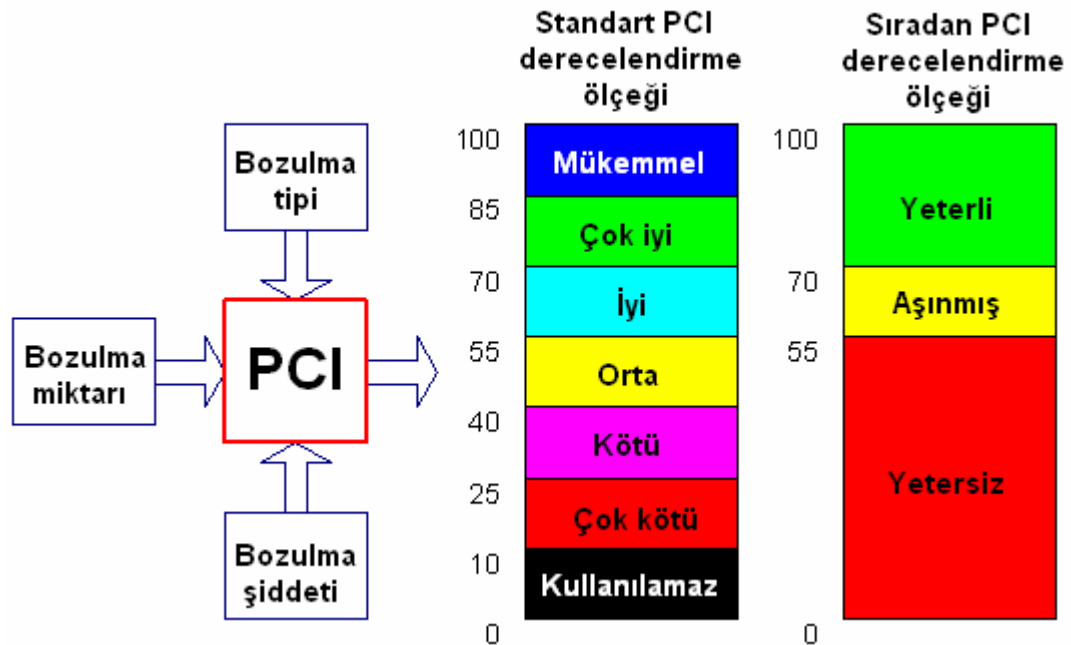
Üstyapı durum değerlendirme çalışmalarında faaliyete geçirilecek ilk aşama; havaalanı üstyapı ağını bölgelere ayırmaktır. Havaalanı üstyapısı pist, apron ve taksiyolları olmak üzere 3 bölgeye ayrılır ve değerlendirme bu bölgelerde ayrı ayrı yapılır.



Şekil 7.1: Havaalanı Üstyapı Ağının Bölgelere Ayrılması

7.2 PCI

PCI değerleri; 0 – 100 arası değer olarak pist, apron ve taksiyollarındaki üstyapı bozulmalarının derecelendirilmesiyle elde edilir. Bozulmanın tipi, miktarı ve şiddeti ile belirlenir.



Şekil 7.2: Standart ve Sıradan PCI Derecelendirme Ölçekleri

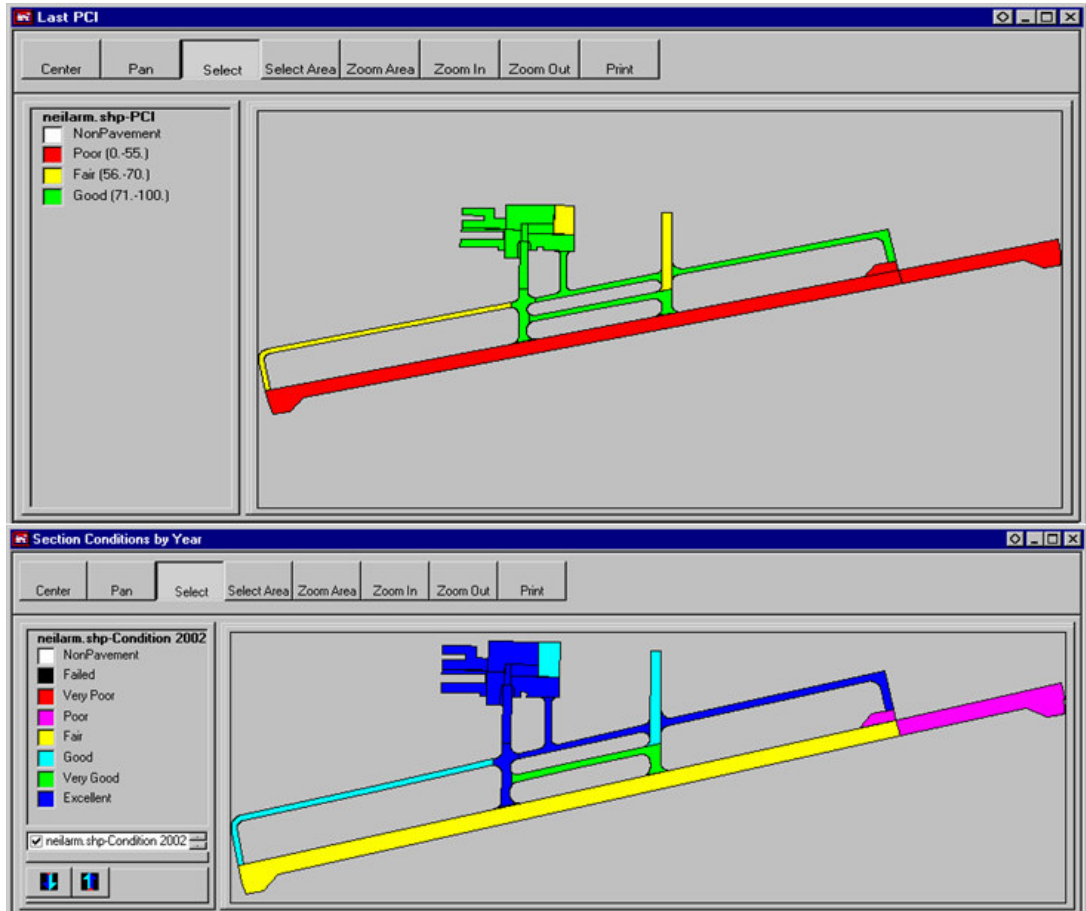
Esnek ve rijit üstyapılarda PCI değerini hesaplamak için her 2 üstyapı tipi içinde meydana gelen bozulma tiplerinden yararlanılır.

Tablo 7.1: Üstyapı Bozulma Çeşitleri

ESNEK ÜSTYAPI BOZULMALARI		RİJİT ÜSTYAPI BOZULMALARI	
Timsah sırtı çatlaklar Kusma Blok çatlama Oluklanma Çökme Jet blast erozyonu Yansıma çatlakları Boyuna – enine çatlama	Yakıt dökülme hasarı Yama Agrega cilalanması Sökülme Havadan aşınma Tekerlek izinde oturma Dalgalanma Kayma çatlama Şişme kabarma	Patlama Kenar kırıkları Çizgisel kırıklar Yorulma çatlakları Derz dolgu hasarı Geniş – dar yama Kırılma	Yıkılma Büzülme çatlakları Derz parçalanması Kenar parçalanması Pompaj Parçalanma

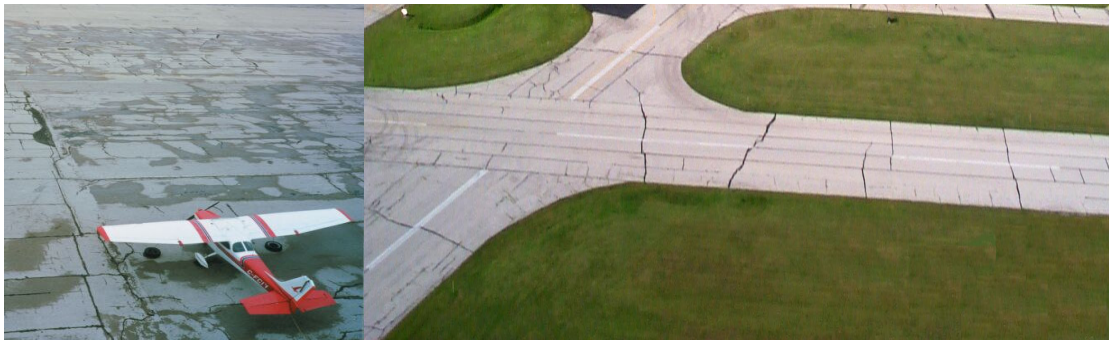
Bir havaalanı üstyapı bölgesi için PCI değerini hesaplamak istenildiğinde, öncelikle bölge parçalara ayrılır ve her parça ayrı ayrı incelenir. Söz konusu bir parça esnek üstyapı için $465 \text{ m}^2 = 5000 \text{ sf}$ (square feet), rijit üstyapı içinse 20 tane derzli beton plak tabakasına eşdeğerdir. Bölgedeki her bir parçanın incelenmesinden ve PCI değerlerinin belirlenmesinden sonra bütün parçaların PCI değerlerinin toplamının aritmetik ortalaması alınır. Bulunan değer bölgenin PCI değeridir. A.B.D. Hava Kuvvetleri PCI için bakım – onarım çalışmaları göz önüne alınırsa, minimum 70 değerini esas alır.

Hesaplamalarda sonuçlara daha kolay ve kısa zamanda ulaşabilmek için bu konuda A.B.D. Hava Kuvvetleri, MicroPAVER isimli bir bilgisayar programı çıkarmıştır. Yazılım sayesinde havaalanı üstyapısı için hem standart hem de bilinen PCI derecelendirmesini oluşturmak mümkündür [13].



Şekil 7.3: MicroPAVER de Geleneksel ve Standart PCI Derecelendirilmesi

Elde edilen sonuçlara bakıldığında PCI çalışmalarının uçakların güvenli iniş ve kalkışları için üstyapının performansını artırması, zamanında bakım – onarım çalışmalarının yapılması ve bu sayede yapımları ve bakım – onarımları oldukça maliyetli olan havaalanı üstyapılarında ekonomik ve sosyal alanda büyük miktarda yıllık mali kazançların sağlanacağı muazzam bir gerçek olarak ortaya konulmuştur.



Şekil 7.4: Havaalanı Üstyapı Bozulmalarından Görünüm

7.3 Yabancı Nesne Hasarı Potansiyeli (FOD)

FOD (Foreign Object Damage) potansiyel indeksi pistteki üstyapı bozulmalarından dolayı kopan malzeme parçalarının uçak motorlarına, özellikle motorları yere yakın olan uçaklara zarar verme potansiyelini belirlemek, güvenli bir kalkış sağlamak ve zamanında önlemler almak için yapılır. PCI indeksi belirlenirken yapılan çalışmalarda FOD indeksinin de belirlenmesi için çalışmalar yapılır. İki sistemde üstyapı bozulmalarından hareket ederek çalıştığı için, FOD indeksini belirlemede; sistemin ele alacağı üstyapı bozulmalarına bakılarak indeks belirlenir.

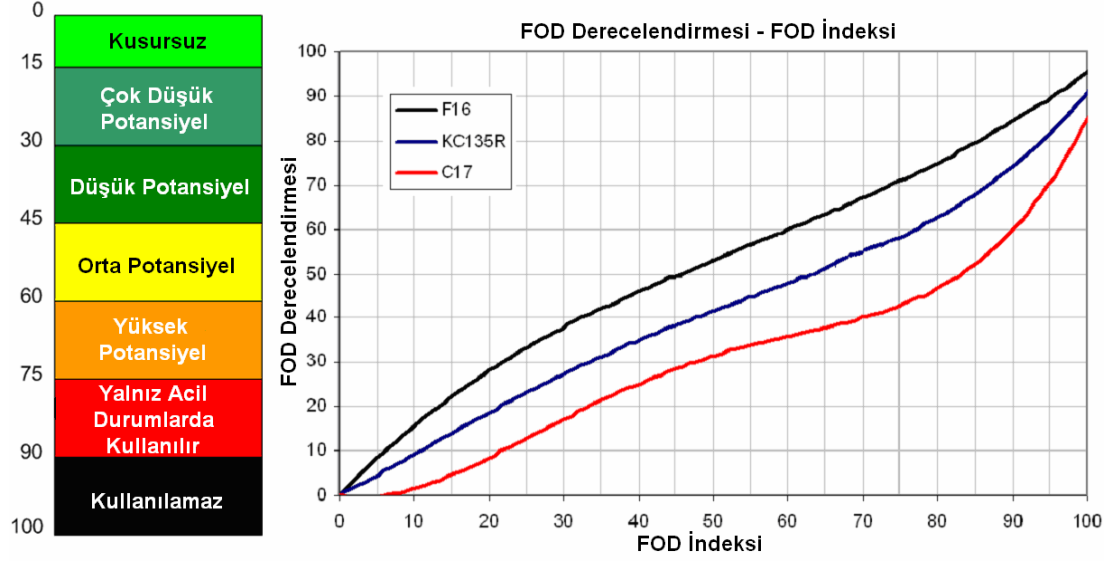
FOD potansiyel indeksi belirlenirken özellikle pistlerde hafif savaş uçaklarının; kalkış sırasında arka kısımlarındaki jet motorlarının ateşleme sistemlerinden yayılan yüksek miktarlardaki ısının; pistlerin üstyapı hizmet sürelerini büyük bir oranda azalttığı ve üstyapı bozulmalarına neden olduğu açıkça görülmüştür.



Şekil 7.5: Hafif Savaş Uçaklarının Kalkış Durumlarının Pist Üstyapılarına Etkisi

Bu üstyapı bozulmaları sonucu üstyapıdan kopan malzeme parçalarının, diğer büyük gövdeli kargo ve bombardıman uçaklarının yere yakın olan motor sistemlerine zarar verdiğine tanık olunmuştur. Bunu önlemek amacıyla PCI sistemine benzer şekilde geliştirilen FOD potansiyel indeksi, mevcut havaalanı üstyapısındaki bozulmaların indekse giren bozulmaları esas almasıyla sistematik hale getirilmiştir. FOD potansiyel indeksi PCI gibi 0 – 100 arası değişen rakamlarla ifade edilip, havaalanını FOD bölgelerine ayırarak, üstyapı sorunlarına ve bozulmalara daha detaylı bir şekilde bakış açısı sağlar [11].

Üstyapıda en çok bozulmalara ve yıpranmalara sebep olan uçaklar belirlenir ve elde edilen veriler grafiklere işlenerek FOD derecelendirmesi ve FOD indeksi arasında ilişki kurularak üstyapıda gereken önlemler alınarak bakım – onarım, iyileştirme çalışmalarına başlanır ya da üstyapıya en çok hangi uçak veya uçaklar zarar veriyor ise bunları hesaba katarak yeni bir üstyapı tasarımı yapılır.



Şekil 7.6: (FOD) İndeksi ve Üstyapıya Olan Uçak Etkisi ile İlişkilendirilmesi

Tüm üstyapı bozulmaları FOD indeksine girmez. Sadece FOD potansiyeli ile ilgili olan; havaalanı üstyapılarında kullanılan malzeme (asfalt – beton) parçalarının üstyapıdan ayrılarak uçak motorlarına zarar verme potansiyeli olan üstyapı bozulmaları FOD potansiyel indeksinde göz önüne alınır.

Tablo 7.2: (FOD) Potansiyel İndeksinin İçeriğinde Yer Alan Üstyapı Bozulmaları

ESNEK ÜSTYAPI BOZULMALARI		RİJİT ÜSTYAPI BOZULMALARI	
Timsah sırtı çatlaklar	Yama Sökülme	Patlama	Yıkılma
Blok çatlama	Havadan aşınma	Kenar kırıkları	Derz parçalanması
Jet blast erozyonları	Kayma çatlama	Çizgisel kırıklar	Kenar parçalanması
Yakıt dökülme hasarı	Boyuna – enine çatlama	Yorulma çatlakları	Pompaj
		Derz dolgu hasarı	Parçalanma
		Geniş – dar yama	Kırılma

7.4 Yapısal İndeks (ACN / PCN)

A.B.D. Hava Kuvvetleri üstyapı yapısal indeksini askeri havaalanı üstyapıları için uçakların ACN değerlerinin üstyapı PCN değerine oranlanması ile elde eder. ACN değerlerinin hesap edilmesinde orduda görevli mühendisler tarafından rijit ve esnek üstyapı tasarımı için birçok bilgisayar programı geliştirilmiştir. Genelde bütün yazılımların çalışma şekli; çok tabakalı lineer elastik bir üstyapı sistemi modellemesi üstüne kurulmuştur. Fakat üstyapı tasarımına etki eden sıcaklık, trafik tahmini, taban zemini taşıma gücü gibi birçok parametre bilgisayar programlarına işlenerek kalınlık tayininde ele alınmıştır [10].



Şekil 7.7: Askeri Havaalanlarında Rijit ve Esnek Üstyapı

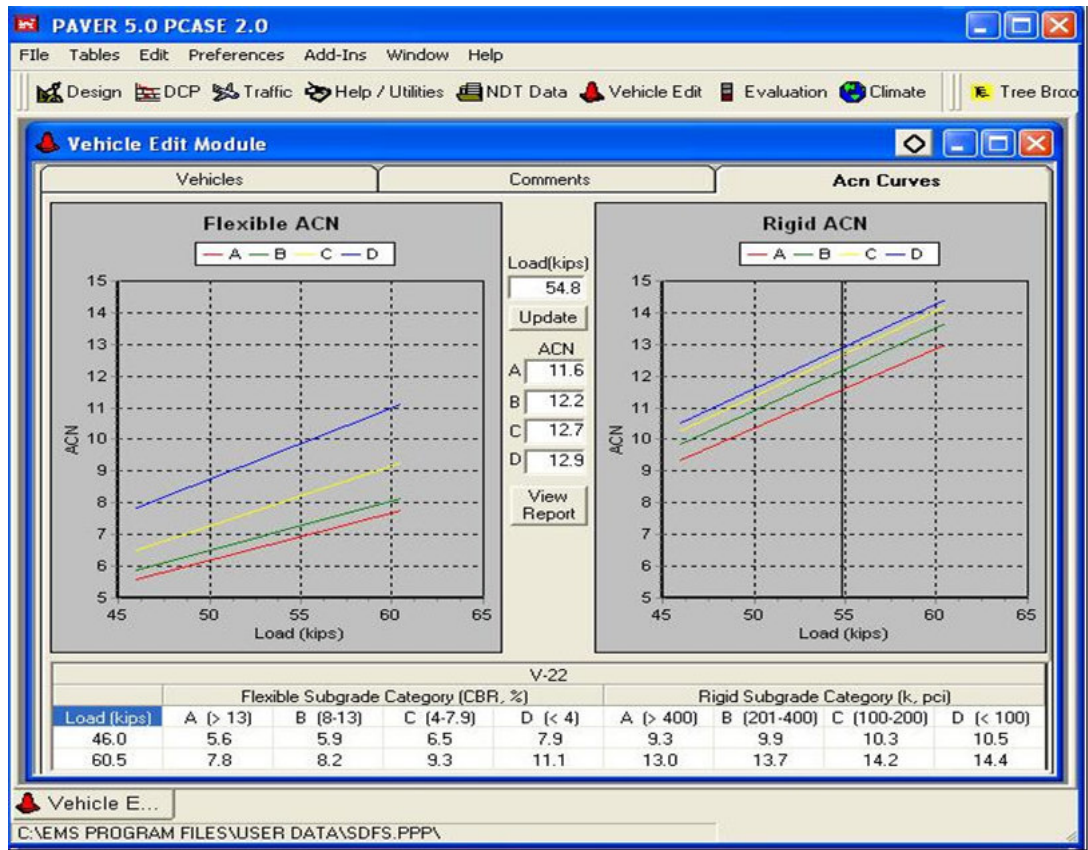
Üstyapı tasarımında birçok yazılım kullanılmaktadır. Bunlardan; **PCASE** programı ACN / PCN hesaplaması yaparak üstyapıyı lineer elastik çok tabakalı bir model olarak ele alır ve analiz sonuçlarını bu varsayımda ele alarak kalınlık tayini yapar. **BASIN** yazılımı, havaalanının her üstyapı bölümü için (PAT bölgesi), Falling Weight Deflectometer yardımıyla yük – deformasyon analizini değerlendirir.

WESDEF programı üstyapıda kullanılan tabakaların elastisite modülü ve poisson oranlarını belirler.

TRAFFIC yazılımı tasarım uçağını belirler ve tahmini trafik miktarı için diğer uçakların kalkış sayılarını tasarım uçağı cinsinden eşdeğer kalkış sayılarına dönüştürür. Tasarım uçağını üstyapıda en etkili olan uçak olarak ve üstyapıya en fazla etki eden uçak olarak esas alır. Tasarım uçağına göre en fazla ve gereken üstyapı kalınlığının hesaplarını gerçekleştirir.

WESPAVE programı ise üstyapı için izin verilebilir uçak yüklerini tahmini kalkış sayısı miktarlarına göre hesaplar. Maksimum yüklemeye tasarım uçağının tahmini kalkış sayısını belirler. Gerekli olan tabaka kalınlıklarını hesaplar ve PCN değerine göre karşılaştırır.

Bunların dışında **PCASE** yazılımı havaalanındaki üstyapıya etki eden helikopterler, yakıt ve malzeme kamyonları, bakım – onarım araçları ve büyük kargo uçaklarına binen tank gibi zırhlı araçların üstyapı üzerinde yaptığı noktasal yüklemeleri göz önüne alarak bunların da tahmini trafik yükleri arasında yer alıp karışık bir trafik kompozisyonu oluşturulmasını sağlayarak üstyapı kalınlık tasarımı yapar [13].



Şekil 7.8: PCASE Programında ACN Hesabı

PCN değerlerine ise FWD (Falling Weight Deflectometer) ve Tahripsiz Testlerle (Non Destructive Testing) ile ulaşılır. Yazılımların da aracılığıyla tasarım uçağının ağırlığı ve taban zemininin taşıma gücü hesaba katılarak PCN değerleri elde edilir. Hava Kuvvetleri esnek üstyapılar için C – 17 uçağını, 904 defa yıllık tahmini kalkış sayısına ve rijit üstyapılar için Boeing – 727 uçağını, 636 defa yıllık tahmini kalkış sayısına göre tasarım uçağı olarak seçmiş ve bu uçakların tahmini yıllık kalkış sayısına göre üstyapı tasarımının uygun olacağını ifade etmiştir.



Şekil 7.9: C – 17 ve Boeing – 727 Tasarım Uçakları

Kullanılan bilgisayar programlarında da hem karışık trafik kompozisyonuna göre tasarım yaparak hem de bu tasarım uçaklarına göre de üstyapı tasarım yapmak mümkündür.

Tablo 7.3: C – 17 ve B – 727 Uçaklarının Uçak Ağırlık Grup İndeksindeki Yeri

UÇAK AĞIRLIK GRUP İNDEKSİ													
HAFİF YÜK			ORTA YÜK								AĞIR YÜK		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A-37	A-7	*F-111	C-130	C-7	B-737	*B-727	B-707	*C-141	*C-17	*C-5	*KC-10	B-747	*B-52
C-12	A-10	FB-111		*C-9	*T-43	C-22	*E-3	*B-1			DC-10	*E-4	
C-21	F-4			DC-9		P-3	C-135	B-757			L-1011	VC-25	
*C-23	F-5			C-140			*KC-135	B-2					
T-37	*F-15						VC-137						
	F-16						DC-8						
	F-10X						EC-18						
	T-33						A-300						
	T-38						B-767						
	T-39												
	OV-10												
	C-20												

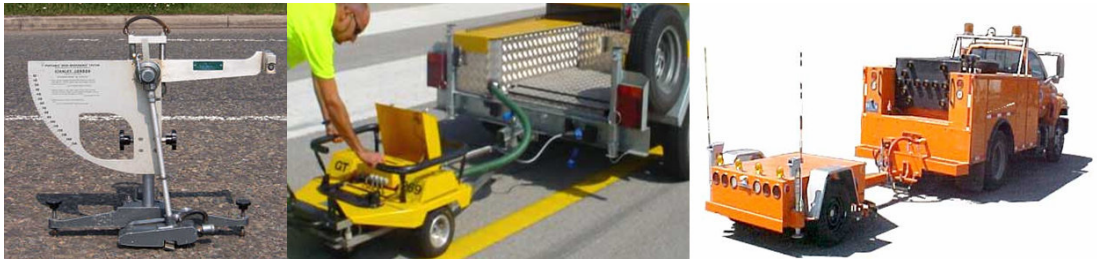
7.5 Üstyapı Yüzeysel Sürtünme İndeksi

A.B.D. Hava Kuvvetleri pist üstyapı tasarımında veya mevcut bir pistte bulunan üstyapı yüzey tabakasının yüzeysel sürtünme katsayılarını değerlendirmede çeşitli test aygıtları ve teçhizatlarından yararlanır. Bu alet ve cihazların en önde gelenleri Grip Tester ve Mu-Meter dir. Fakat kullanılan diğer donanım ve ekipmanlarda bu aletler kadar hassas ve güvenilir sonuçlar verir.

Tablo 7.4: Kullanılan Ekipmana Göre Üstyapı Yüzeysel Sürtünme Sınıflandırması

YÜZEYSEL SÜRTÜNME SINIRLARI											
Yüzeysel Sürtünme Derecesi	Test Cihazı Okumaları (Nominal Test Hızı 65 km/sa)										
	RCR	Grip Tester	JBİ	Mu Meter	Surface Friction Tester	Runway Friction Tester	Bv-11 Skiddo Meter	Decel Meters	Locked Wheel Devices	IMAG	ICAO Index
İYİ	>17	>.49	>.58	>.50	>.54	>.51	>.59	>.53	>.51	>.53	5
ORTA	12-17	.34-.49	.40-.58	.35-.50	.38-.54	.35-.51	.42-.59	.37-.53	.37-.51	.40-.53	3-4
KÖTÜ	≤11	≤.33	≤.39	≤.34	≤.37	≤.34	≤.41	≤.36	≤.36	≤.40	1-2

Ölçümlerin sayısal değerleri; pistin 152 m lik bölümlere ayrılıp, bölümler halinde tek tek incelenmesi ve elde edilen değerlerin toplamının ortalamasının alınmasıyla elde edilir. Ölçüm için kullanılan test aletlerinin nominal test hızı 65 km / saat olarak seçilmiş, fakat RCR ve JBİ gibi araçların test hızlarının 40 km / saat olması da uygun görülmüştür. Testlerde lastikli aygıt kullanan cihazların lastik basınçları 20 psi den 100 psi ye kadar değişir. Bazı teçhizatlarda ölçümlerin hatasız yapılabilmesi elektronik hassas kaydedici bulunur.



Şekil 7.10: Yüzeysel Sürtünme Ölçüm Aygıtları

Pistlerdeki ölçümlerde ıslak yüzeylerin yüzeysel sürtünme katsayısında daha düşük değerler verdiği ortaya konulmuştur. Yüzeysel yönden iyi olan pistlerin; yağmur sularının, uçak tekerleklerinin temas alanına etki ederek kaymaya sebep olmasını engellediği saptanmıştır. Kötü yüzeye sahip olan pistlerin ise düşük bir sürtünme katsayısına sahip olduğu ve zayıf bir drenaj özelliği yansıttığı kanıtlanmıştır.

Ölçümlerin sayısal değerleri; pistin 152 m lik bölümlere ayrılıp, bölümler halinde tek tek incelenmesi ve elde edilen değerlerin toplamının ortalamasının alınmasıyla elde edilir. Ölçüm için kullanılan test aletlerinin nominal test hızı 65 km / saat olarak seçilmiş, fakat RCR ve JBI gibi araçların test hızlarının 40 km / saat olması da uygun görülmüştür. Testlerde lastikli aygıt kullanan cihazların lastik basınçları 20 psi den 100 psi ye kadar değişir. Bazı teçhizatlarda ölçümlerin hatasız yapılabilmesi elektronik hassas kaydedici bulunur.

7.6 Değerlendirme

Yapılan tüm çalışmaların ardından, A.B.D. Hava Kuvvetleri bir havaalanındaki üstyapı bölgelerinin (pist, apron ve taksiyolları) özelliklerini; PCI, yüzeysel sürtünme indeksi, yapısal indeks ve FOD indeksi olmak üzere 4 grupta incelemiş olmaktadır. Bütün bu yapılan uygulamalardan sonra her üstyapı bölgesi için genel bir değerlendirme yapılır. Bu değerlendirmede PCI temel kıstas alınır ve diğer indekslerde değerlendirmede yardımcı kriterler olarak ele alınır. İndeksler; Yeterli, Aşınmış ve Yetersiz olmak üzere, değerlerinin yer aldığı aralıklarla birlikte, 3 grupta derecelendirilir [9].

Tablo 7.5: İndekslerin Değer Aralıklarına Göre Değerlendirilmesi

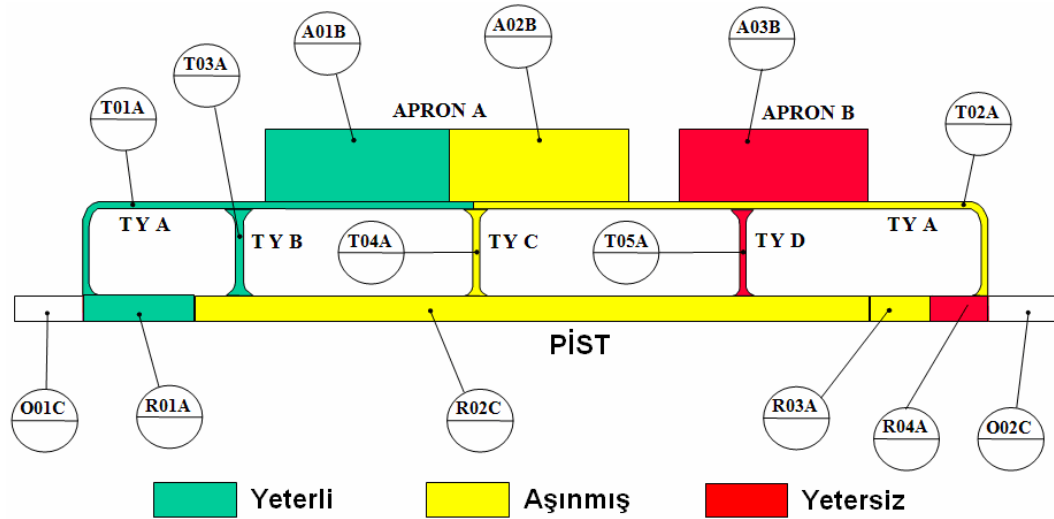
Değerlendirme	Üstyapı Durum İndeksi (PCI)	Yüzeysel Sürtünme İndeksi (Sadece Pistlerde)	Yapısal İndeks (ACN / PCN)	FOD İndeksi
Yeterli	71-100	> 0.49	< 1.10	< 15
Aşınmış	56 - 70	0.34 – 0.49	1.10 – 1.40	15 - 30
Yetersiz	0-55	< 0.34	> 1.40	> 30

İnceleme yapılmış olan üstyapı bölgelerinin değerlendirilmesi 4 indeks üzerinde gerçekleştirilir ve parsellenmiş olan her bölümün derecelendirilmesi yapılır. Tüm uygulamalardan sonra indeksler arasında bulundukları bölgesel alanlara göre korelasyonlar yapılarak ortalamaları alınır ve incelenen bölgeler kendi içinde değerlendirilerek üzerinde çalışılan toplam havaalanı üstyapı bölgeleri için genel sonuçlar elde edilir.

Tablo 7.6: Genel Değerlendirme Örneği

	Bölüm	PCI	Alan	Sürtünme İndeksi	Yapısal İndeks	FOD İndeksi	Değerlendirme
	R01A	78	150,000	0.55	0.88	14	Yeterli
	R02C	87	1,200,000	0.40	0.88	10	Aşınmış
	R03A	76	5,700,000	0.40	1.25	16	Aşınmış
	R04A	65	75,000	0.40	1.5	25	Yetersiz
Genel Değerlendirme		85 (Yeterli)		0.42 (Aşınmış)	0.93 (Yeterli)	11 (Yeterli)	Aşınmış

Elde edilen sonuçlara göre derecelendirilen her üstyapı bölgesi bir renk ile ifade edilerek genel değerlendirme sonucuna ulaşılır. Bundan sonra incelenen bölgeler için maliyet hesapları yürütülerek yeniden üstyapı yapıp yeni bir üstyapı tasarımı için çalışmalar yapılır veya bakım – onarım çalışmalarına başlanır.



Şekil 7.11: Havaalanı Üstyapı Genel Değerlendirme Örneği

8. HELİPORT ÜSTYAPI TASARIMI

Havaalanı üstyapıları gibi rijit ve esnek üstyapı tipinde tasarlanırlar. Yapımları gerekmedikçe havaalanı apronlarının belirli bölümleri heliport alanı olarak ta kullanılır. Toplam ağırlığı 9100 kg dan az olan helikopterler için kullanılan üstyapılar normal olarak 15 cm'lik minimum beton üstyapı yüzey tabakası veya bitümlü sıcak karışım üstyapı yüzey tabakası ile temel ve temel altı malzemelerinden oluşur.



Şekil 8.1: Esnek Üstyapılı ve Rijit Üstyapılı Heliportlar

Toplam ağırlığı 9100 kg dan fazla olan helikopterler için kullanılan üstyapılar bitümlü veya portland çimento katkılı beton üstyapı yüzey tabakası ve uygun gradasyona sahip temel, temel altı malzemelerinden oluşmaktadır ve özel bir tasarım gerektirmemektedir. Üstyapı eğimi maksimum % 2'dir.

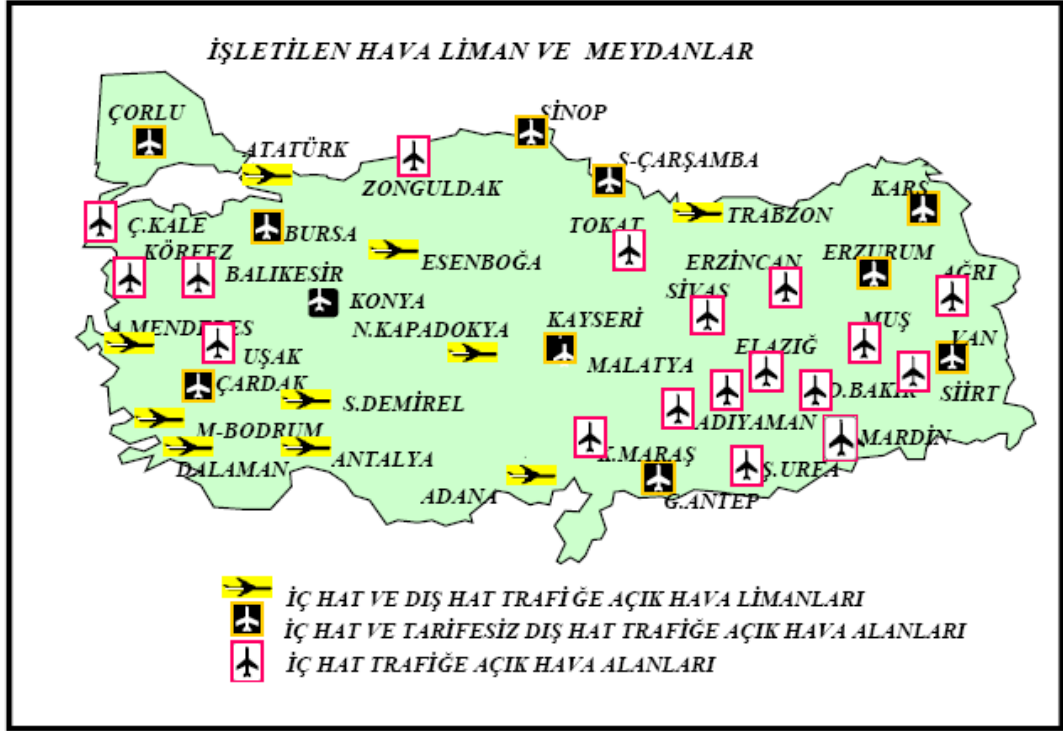


Şekil 8.2: Esnek ve Rijit Heliport Üstyapıları

Heliport üstyapılarının alanı kullanacak olan helikopterlerin yüklerini karşılayabilecek güçte olması, üstyapıların hava şartlarına dayanıklı ve pervane süpürmesi ile toz veya diğer parçaları meydana getirmeyecek şekilde üstyapı tasarımı yapılması önemlidir. Kalın üstyapıların, helikopter yüklerini zeminde daha geniş bir alana dağıtması nedeni ile zemin mukavemetinin azaldığı yerlerde, üstyapı kalınlığının daha fazla olması gerektiği önemli bir etkidir [19].

9. TÜRKİYE'DEKİ HAVAALANLARI

Türkiye genelinde mevcut durum itibariyle, Askeri Meydanlar, Sivil-Askeri kullanılan meydanlar ve DHMİ Genel Müdürlüğünce işletilen meydanlar olmak üzere toplam 68 adet havaalanı mevcuttur. Bunlardan 34 adedi Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü tarafından işletilmektedir [22].



Şekil 9.1: DHMİ Tarafından İşletilen Havalimanı ve Meydanlar

Ülkemizde bulunan, bütün sivil ve askeri havaalanları DLH İnşaatı Genel Müdürlüğü tarafından inşa edilmiştir. Havaalanlarımızın üstyapıları; LCN ve ACN/PCN yöntemlerine bağlı kalarak projelendirilme yapılmış ve inşa edilmiştir. Ulaştırma Bakanlığının bölgesel havaalanı projeleri, iç hat trafiğine çalışan havaalanlarımızın dış hatlar trafiğine açılmasını sağlamak için yeni ve ilave yapım ve genişletme çalışmalarının uygulandığı pist, apron ve taksiyolları bölgelerinin üstyapı tasarımı için analitik tasarım yöntemlerine geçilmesinin daha uygun olacağı bir gerçektir.

Tablo 9.1: DHMİ Tarafından İşletilen Havalimanı ve Meydanlarının Pist Özellikleri

HAVALIMAN VE MEYDANLAR	PİST BOYUTU [M]	PİST MUKAVEMETİ	PİSTİN KAPLAMA CİNSİ
ATATÜRK	3000X45	PCN100	BETON
	2300X60	PCN100	BETON
ESENBOĞA	3750X60	PCN-58	KOM.BET.ASF.
	3750X45	PCN-80	KOM.BET.ASF.
A.MENDERES	3240 X 45	PCN-120	KOMPOZİT
ANTALYA	2990X45	LCN-65	KOM.BETON
	3400X45	PCN 84	KOM.BET.
DALAMAN	3000 X 45	PCN-100	BETON
ADANA	2750 X 45	PCN-100	KOMPOZİT
TRABZON	2640X45	PCN75	BETON
MİLAS-BODRUM	3000X45	PCN 105	BETON
Ş. DEMİREL	3000X46	PCN 120	BETON
NEVŞEHİR-KAP.	3000X45	LCN 100	BETON
BURSA	1400 X 32	PCN-14	BETON
ÇORLU	3000 X 45	LCN-59	BETON
ERZURUM	3810 X 30	PCN 74	BETON
	3810X45	LCN 60	BETON
GAZİANTEP	2800 X 45	PCN-71	BETON
KARS	3500 X 45	PCN-68	BETON
KAYSERİ	3270X40	LCN-45	ASFALT
SAMSUN-ÇARŞ.	3000 X 45	LCN-100	BETON
SINOP	1652X30	LCN-30	BET. ASF.
	755X23	LCN-30	BET.ASF.
VAN	2750 X 45	PCN-74	KOMPOZİT
ADIYAMAN	2540X30	PCN-81	BETON
AĞRI	2000X30	LCN 35	BET.ASF.
BALIKESİR	2990X44	LCN 50	ASFALT
ÇANAKKALE		PCN-73	BETON
ÇARDAK	3000 X 45	LCN 45	ASFALT
DIYARBAKIR	3549 X 45	LCN-75	BETON
ELAZIĞ	1720 X 32	PCN-76	ASFALT
ERZİNCAN	3000X45	PCN-95	BETON
K.MARAŞ	2300X30	PCN-87	BETON
KÖRFEZ	2143X30	PCN 50	BETON
MALATYA	3350 X 45	LCN-38	ASFALT
MUŞ	3550X45	LCN-50	KOMPOZİT
	3550X22,5	LCN -50	KOMPOZİT
ŞİRT	1660X30	PCN-50	BETON
SİVAS	3811 X 30	LCN-56	BETON
Ş.URFA	2165 X 30	LCN-35	ASFALT
TOKAT	1610 X 30	LCN-31	ASFALT
UŞAK	2560X30	PCN-95	BETON
ZON. ÇAYCUMA	1800X30	LCN-35	BETON
MARDİN	2500X36	LCN-50	BETON

Tablo 9.2: DHMİ Tarafından İşletilen Havalimanı ve Meydanların Apron ve Taksiyolları Durumu

HAVALIMAN VE MEYDANLAR	APRONLAR		TAKSİRUTLAR	
	KAPLAMA CİNSİ	MUKAVEMETİ	KAPLAMA CİNSİ	MUKAVEMETİ
ATATÜRK	BETON	PCN-100	BETON	PCN-100
ESENBOĞA	ASFALT	PCN-58	ASFALT	PCN58
A.MENDERES	BETON	PCN-120	BET-ASF	PCN-120
ANTALYA	BETON	PCN- 84	BETON	PCN-84
DALAMAN	BETON	PCN-100	BETON	PCN-100
ADANA	BETON	PCN-100	ASFALT	PCN-100
TRABZON	BETON	PCN- 75	BETON	PCN-75
MİLAS- BODRUM	BETON	PCN-105	BETON	PCN-105
S.DEMİREL	BETON	PCN-120	BETON	PCN-120
NEVŞEHİR- KAP.	BETON	LCN-100	BETON	LCN-100
BURSA	ASFALT	PCN- 14	BETON	PCN-14
ÇORLU	BETON	LCN-59	BETON	LCN-59
ERZURUM	BETON	LCN-60	BETON	LCN-60
GAZİANTEP	BETON	PCN-71	BETON	PCN-71
KARS	BETON	PCN-68	BETON	PCN-68
KAYSERİ	ASF.	LCN-45	ASFALT	LCN-45
SAMSUN- ÇARŞ.	BETON	LCN-100	BETON	LCN-100
SİNOP	BETON	LCN-20	BETON	LCN-20
VAN	BETON	PCN-80	BETON	PCN80
ADİYAMAN	BETON	PCN-71	BETON	PCN-71
AĞRI	BET.ASF.	LCN-35	BET.ASF.	LCN-35
BALIKESİR	BETON	PCN-50	BETON	PCN-50
ÇANAKKALE	ASFALT	PCN-35	BETON	PCN-35
ÇARDAK	BETON	LCN-60	ASFALT	LCN-45
DIYARBAKIR	BETON	LCN-55	BETON	LCN-55
ELAZIĞ	ASFALT	PCN-76	ASFALT	PCN-76
ERZİNCAN	BETON	PCN-95	BETON	PCN-95
K.MARAŞ	BET.ASF.	PCN-87	BET.ASF.	PCN-87
KÖRFEZ	BETON	PCN-50	BETON	PCN-50
MALATYA	BETON	LCN-38	BETON	LCN-38
MUŞ	BETON	LCN-38	BETON	LCN-38
SIĞIRCI	BETON	PCN-50	BETON	PCN-50
SİVAS	BETON	LCN-56	BETON	LCN-56
Ş.ÜRFA	ASFALT	LCN-50	ASFALT	LCN-50
TOKAT	ASFALT	LCN-31	ASFALT	LCN-31
UŞAK	BETON	PCN-95	BETON	PCN-95
ZONGULDAK/ ÇAYCUMA	BETON		BETON	
MARDİN	BETON	LCN-50	BETON	LCN-50

10. SONUÇLAR

Yöntemlerin genel bir değerlendirmesi yapılmak istenirse her yöntemin birbirinden farklı bazı avantajları ve dezavantajları olduğu görülür. Fakat, analitik yöntemlerin ampirik yöntemlere göre üstünlükleri açıkça bilinmektedir.

LCN Yönteminde; üstyapı projelendirme ve kalınlık tasarımı tek uçak için yapılır. Trafik hacmi tasarımda değerlendirilmemektedir. Uçak ağırlığı açısından maksimum uçak kalkış ağırlığının dikkate alınması yöntemin üstün bir yönünü ortaya koymaktadır. Uçak iniş takımı düzeni göz önüne alınmamıştır. Tasarım kalınlığının bulunmasında tablolar ve grafiklerden yararlanılıp tasarım için herhangi yazılım geliştirilmemiştir.

ACN/PCN Yönteminde; havaalanına inen her uçak için ayrı ayrı ACN değerleri bulunur ve üstyapı kalınlık tasarımı yalnızca seçilen tek bir uçak için yapılır. Bu açıdan diğer uçakların trafik hacmine olan etkisi ciddiye alınmamıştır. Uçak ağırlığı için sadece brüt ağırlık esas alınıp kalkış ağırlıkları önemsenmemiştir. Trafik hacmi göz önüne alınmamıştır. Tahmini yıllık trafik hesabı hakkında söz edilmemiştir. Bütün uçaklar için tek bir iniş takımı düzenine göre tasarım yapılmış. Uçağın ağırlığının % 90 nın arka iniş takımlarında toplandığı varsayılmıştır. Havaalanının inşa edileceği yerin iklim koşulları ve sıcaklık değişimleri hakkında hiçbir inceleme yapılmamıştır. Üstyapı tasarımında toplam üstyapı kalınlığı tasarımı dikkate alınmış, temel ve alttemel tabaka kalınlık tasarımı yapmak mümkün değildir. Tasarım grafikler ve abaklar üzerinden gerçekleştirilmiş, herhangi bir bilgisayar programının kullanımı ya da bu konuda bir matematiksel model ortaya konulması söz konusu olmamıştır. Taban zemini taşıma gücü açısından zeminlerin taşıma güçlerini 4 ana sınıfa ayırmış arada kalan değerdeki zeminlerin taşıma güçleri için bu 4 değere yakın olan ana değer esas alınmış, ara değerler üzerinde durulmadan tasarıma geçilmiştir.

F.A.A. Yönteminde; yıllık tahmini kalkış hesapları yapılır ve tasarım bu hesaplardan çıkacak sonuçlara göre yapılır. Tasarımda bir tasarım uçağı seçilir fakat bu uçağın seçimi diğer uçakların ağırlıkları ve iniş takımları göz önüne alınarak gerçekleştirilir. Seçilen tasarım uçağı gerek ağırlık bakımından yıllık kalkış miktarı bakımından üstyapıya en fazla etki eden uçak olarak seçilir. Diğer uçakların ağırlıkları ve iniş takımları açısından bir tasarım uçağı ile temsil edilerek tasarıma katılmaları yöntemin diğer yöntemlere göre daha kullanışlı olduğunu göstermektedir. Tasarımda uçakların maksimum kalkış ağırlıkları dikkate alınmış. İniş takımı düzenleri tasarımda grafik eğrilerinde üzerinde durulmuştur. Sıcaklık açısından don etkisi ve don penetrasyon derinliği konusu dikkate alınmış ve korunma yöntemleri geliştirilmiştir. Tasarım üstyapı tabaka kalınlıklarını her tabaka için ayrı ayrı hesaplamak mümkündür. Tasarım yönteminin temel prensibi esnek üstyapı tasarımı için CBR, rijit üstyapı tasarımı için kenar yükleme teorisi üzerinde kurulmuştur. Taşıma güçlerinin grafikler dışında CBR test aleti ve plaka yükleme testi ile belirlenmesi de olanaklıdır.

Dinamik Yöntemlerde; hesaplar ve tahminler bilgisayar programları ve geliştirilen yazılımlar vasıtasıyla yapıldığından değerlendirme yönünden birçok parametrenin ele alınıp üstyapı tasarımına başarıyla uygulandığı görülmüştür. İncelenen matematiksel modellemelerle üstyapı tasarımında yeni uygulamalar ortaya çıkarılmıştır. Geliştirilen birçok test cihazı, deney aleti, denetleme aygıtı, kontrol teçhizatı, donanım ve araç gerecin faaliyete geçirilmesi ile üstyapı tasarımı ve mevcut havaalanı üstyapı bölgelerinin iyileştirme ve bakım – onarım çalışmalarında büyük bir ekonomik ve mali kazanç elde edilmesi sağlanmış, yatırımların ve ödeneklerin bu konuya daha fazla ayrılmasında büyük pay sahibi olunmuştur.

Corps of Engineers Yönteminde, yöntemin esas amacının askeri havaalanlarına uygulanması fakat geliştirilecek bir teknik ve sistematik programla sivil havaalanlarının üstyapı bölgelerinin üstyapı tasarımına ve mevcut havaalanlarının iyileştirme çalışmalarına da uygulanabileceği belirtilmiştir. Askeri uçakların özellikle bombardıman uçakları dikkate alındığında üstyapı tasarımının çok teknik ve güvenli yapılması şarttır. Bu açıdan A.B.D. Hava Kuvvetleri bu konuda birçok bilgisayar programı ve üstyapı tasarım yazılımları geliştirmiş, ulaşılacak sonuçlarda hata payının sıfıra yakın olmasını sağlamıştır.

Uçakların bomba ve füze gibi birçok patlayıcı madde taşıması sebebiyle uçakların iniş ve kalkışlarını güvenli bir biçimde yapabilmeleri ve değişen iklim ve hava şartlarını hesaba katarak, üstyapı bölgelerinin, üstyapı yüzeysel sürtünme durumları üzerinde ciddi bir şekilde durmuş ve uçakların iniş takımları ile üstyapı arasındaki etkileşimi göz önünde bulundurarak bu konuda birçok test ve deney aygıtı geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Uygulanan laboratuvar ve arazi deneyleri ile de bu çalışmalar desteklenmektedir.

Ampirik tasarım yöntemlerinin havaalanı üstyapı tasarımında kullanılmasının, gelişen uçak endüstrisine ve teknolojisine bağımlı kalarak ne kadar güvenli yada hatasız olup olmadığı ve yapılacak bir havaalanı üstyapı bölgelerinin inşaatı maliyet keşif hesaplarında kullanılmasının yapım maliyetine ne kadar etki edeceği veya ne kadar ekonomik olacağı düşündürücü bir konudur. Özellikle ülkemizde halen havaalanı üstyapı tasarımında ampirik yöntemlerin kullanılması kesinlikle üzerine düşülmesi gereken bir mevzudur.

Analitik yöntemlerin ise havaalanının yapılacağı bölgenin iklim, topoğrafik yapı, zemin durumu, tahmini trafik özellikleri gibi birçok özelliğin ve parametrenin bütünlük bir şekilde ele alınarak, günümüzde gelişen yazılım dünyası ve bilgisayar programlarından ve buna ilaveten test cihazları ve aygıtlarından destek alınarak, ancak, araştırma ve geliştirme çalışmalarına ayrılan ödenek ve yatırımlar sayesinde gelişmesinin gerçekleşeceği açık bir şekilde görülmektedir.

Ülkemizde; Havameydanları Araştırma Daire Başkanlığına yeterli yatırımlar yapılmaması ve Havameydanları İnşaatında çalışan teknik eleman sayısının ve buna bağlı olarak bilgi birikiminin azalmasından dolayı; havaalanı üstyapı tasarımında kullanılan yöntemlerin analitik yöntemlere dönüşmesi için uzun zaman gerekmektedir.

Bu yüzden tasarımı ve ilk yapım aşamaları çok önemli bir konu olan havaalanı üstyapı bölgelerinin ileriki yıllardaki bakım – onarım çalışmalarına, maliyet yönünden büyük bir problem olmamaları amacıyla tasarım yöntemlerinin araştırma – geliştirme noktasında incelenmesi, gerekli faaliyetlerin yürütülmesi ve gerçekleştirilmesinin, başlıca esaslardan ve üstü kapatılamayacak mevzulardan olduğu kesin bir gerçektir.

KAYNAKLAR

- [1] **YODER, E.J. and Witczak, M.W.**, 1975. *Principles of Pavement Design*. Second Edition, U.S.A.
- [2] **Horonjeff, R. and McKelvey F.X.**, 1994. *Planning and Design of Airports*, U.S.A.
- [3] **Aerodromes**, 1999. Annex 14 To The Convention On International Civil Aviation, *Volume I Aerodrome Design And Operations*, U.S.A.
- [4] **AC 150/5380-6**, 2002. *Airport Pavement Maintenance*. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, U.S.A.
- [5] **AC 150/5320-6E**, 2007. *Airport Pavement Design and Evaluation*. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, U.S.A.
- [6] **Airport Pavement Design And Evaluation**, 2002. AC No: 150/5320, U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, U.S.A.
- [7] **MD-11 Airplane Characteristics For Airport Planning** 1990. Mcdonall Douglas Aircraft Company, U.S.A.
- [8] **Eaton, R., Janoo, V.C. and Barna, L.**, 1997. *Evaluation of Airport Subsurface Materials*. Special Report 97-13, US Army Corps of Engineers Cold Regions Research & Engineering Laboratory, U.S.A.
- [9] **Greene, J., and Shahin, M.** 2008. *Airfield Pavement Condition Assessment*. US Army Construction Engineering Research Laboratories, Tyndall Air Force Base, Florida, Illinois, U.S.A.
- [10] **Iselin D.G.**, 1979. *Pavement Design Manual 5.4*, Department of the U.S. Navy, Naval Facilities Engineering Command, U.S.A.
- [11] **Airfield Pavement Evaluation Standards and Procedures**, 2002. Department Of The Air Force Headquarters Air Force Civil Engineer Support Agency, Florida, U.S.A.
- [12] **Hall, K.T., Correa, C.E., Carpenter S.H. and Elliot R.P.**, 2001. *Rehabilitation Strategies for Highway Pavements*, National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board National Research Council, U.S.A.
- [13] **Walker, R.S. and Adolf, M.J.** 2005. *Pavement-Transportation Computer Assisted Structural Engineering (PCASE) User Manual*, US Army Corps of Engineers Cold Regions Research & Engineering Laboratory U.S.A.

- [14] **Havameydanları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları**, 2007. DLH İnşaatı Genel Müdürlüğü, *Yüksel Proje*. Ankara.
- [15] **Havameydanları Malzeme, Yapım, Kontrol ve Bakım Onarım Teknik Esasları Sonuç Raporu**, 2007. DLH İnşaatı Genel Müdürlüğü, *Yüksel Proje*. Ankara.
- [16] **Hava Alanı Altyapı Kontrol, Bakım ve Onarım Yönergesi**, 2006. DHMİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [17] **Meydan Tasarım Kılavuzu**, 1984. Dök. 9157-AN/901, 2. Baskı, 1. Bölüm *Pistler(Çeviri)*, Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO).
- [18] **Meydan Tasarım Kılavuzu**, 1991. Dök. 9157-AN/901, 3. Baskı, 2. Bölüm *Taksirutlar, Apronlar ve Bekleme Alanları (Çeviri)*, Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO).
- [19] **Heliport Yönetmeliği**, 1999. SHY – 14B, *Türk Sivil Havacılık Mevzuatı*, Ulaştırma Bakanlığı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [20] **Bingöl, G.**, 2000. Havaalanı Üstyapılarının Tasarımı ve İyileştirilmesi Yöntemleri. *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **Kuloğlu, N., Özdemir, M.A. ve Kök, B.V.** 2007. Havaalanı Esnek Üstyapı Tasarım Metodlarının Değerlendirilmesi.
- [22] **Özenen, C.G.**, 2003. Havaalanı Yatırımlarında Özelleştirme Dünyadaki Uygulamalar ve Türkiye İçin Öneriler. *Uzmanlık Tezi*, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü Altyapı Ve Hizmetler Dairesi Başkanlığı. *DPT – Uzmanlık Tezleri Yayın No: 2666*. Ankara.
- [23] **Tunç, A.**, 2003. *Havaalanı Mühendisliği ve Uygulamaları*. Asil Yayın Dağıtım, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih OKUR 25.12.1983 tarihinde Bursa'da doğdu. 2006 yılında İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitime başladı. 2007 yılının Eylül ayında Ulaştırma Bakanlığı Bursa Ulaştırma Bölge Müdürlüğü DLH İnşaatında kontrol mühendisi olarak göreve başladı. 9 ay gibi kısa bir sürede; iç liman onarımı, kıyı erozyonu önleme dalgakıran inşaatı, iskele, rıhtım ve mendirek inşaatı, kıyı tahkimatı, kıyı dolgu yapımı ve özel sektör yatırımlarından tersane ve liman inşaatları gibi birçok kıyı yapısının etüd proje ve yapım işlerinde kontrol mühendisi olarak çalıştı. Bu süre içinde de arşivde bulunan belgelerden Bursa – Yenişehir Havaalanı ve Çanakkale – Gökçeada Havaalanının yapım projelerini daha yakından inceleme fırsatı buldu. Balıkesir – Edremit Körfez Havaalanı pist genişletme, yeni taksirut ve apron ilavesi projesinde kontrol mühendisi olarak görev alma ve hizmet etme tebligatını aldı.