<u>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ</u>

HAVA ALANI PİSTLERİNDE TEMEL DOLGUSUNUN GEOSENTETİK İLE DONATILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ İnş. Müh. Sedat DURLANIK

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ Programı : GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2003

<u>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ</u>

HAVA ALANI PİSTLERİNDE TEMEL DOLGUSUNUN GEOSENTETİK İLE DONATILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ İnş. Müh. Sedat DURLANIK (501991181)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30 Nisan 2003 Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Mayıs 2003

Tez Danışmanı :	Prof.Dr. Mete İNCECİK
Diğer Jüri Üyeleri	Prof.Dr. Kemal ÖZÜDOĞRU
	Yar.Doç.Dr. Mehmet BELİRGEN (Y.T.Ü.)

MAYIS 2003

ÖNSÖZ

Başta değerli hocam ve danışmanım sayın Prof.Dr. Mete İNCECİK olmak üzere tezimi hazırlamamda yardımcı olan; Dr. Aykut ŞENOL' a, ENGİNE Müm. Müh. San. ve Tic. A.Ş. firmasından İnş.Müh. Taylan ENGİN ve İnş.Müh. Umur KALAYCI' ya ve değerli arkadaşım Araş.Gör. Mustafa HATİPOĞLU' na teşekkürü bir borç bilirim.

May1s 2003

Sedat DURLANIK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	V
TABLO LÍSTESÍ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. HAVA ALANLARINDA PİST TASARIMINI ETKİLEYEN FAKTO	ÖRLER 3
2.1. Uçakların Karakteristik Özellikleri	4
2.2. Havaalanlarının Sınıflandırılması	9
2.2.1. FAA sınıflandırması	10
2.2.2. ICAO sınıflandırması	11
2.3. Pistlerin Geometrik Özellikleri	12
3. HAVA ALANLARINDA KAPLAMA KALINLIĞININ TAYİNİ	23
3.1. Tasarım Uçağının Belirlenmesi	24
3.2. Esnek Kaplamaların Boyutlandırılması	28
3.3. Rijit Kaplamaların Boyutlandırılması	37
3.4. ACN-PCN Sistemi	41
4. GEOSENTETİKLER	42
4.1. Geosentetiklerin Fonksiyonları	49
4.1.1. Ayırma fonksiyonu	50
4.1.2. Filtrasyon fonksiyonu	52
4.1.3. Drenaj fonksiyonu	53
4.1.4. Koruma fonksiyonu	53
4.1.5. Yalıtım fonksiyonu	55
4.1.6. Donatı fonksiyonu	56

4.2. Kaplamalarda Donatı Elemanı Olarak Geotekstil ve Geogrid Kullanımı	60
4.3. Donatılı Temel Tabakası Kalınlığının Tespiti	65
5. TEMEL DONATISI OLARAK KULLANAN GEOGRİDLERLE İLGİI	Ĺ
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	77
5.1. Alaska Üniversitesinde Yapılan Deneysel Çalışma	77
5.2. U.S.Army Corps of Engineers Tarafından Yapılan Deneysel Çalışma	82
5.3. Waterloo Üniversitesinde Yapılan Deneysel Çalışma	89
5.4. Arazide Geosentetiklerle Donatılmış Esnek Kaplama Deneyi	92
5.5. Geotekstil ve Geogrid Kullanılarak Donatılmış Dolguların Karşılaştırma	sı 102
6. GEOGRİDLERİN TEMEL DONATISI OLARAK KULLANILDIĞI H	AVA
ALANLARINDAN BİR ÖRNEK	106
7. SONUÇLAR	113
KAYNAKLAR	118
EKLER	121
ÖZGEÇMİŞ	152

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri	
ICAO	: International Civil Aviation Organization (Uluslararası Sivil	
FAA	· Federal Aviation Administration (Federal Havaculuk Dairagi)	
CPD	. reuerai Aviation Auministration (reuerai mavachik Dallesi)	
CDK FTI V	. Camonna Deanng Kano (Kamonna Taşıma Gucu Oranı)	
PCA	: Portland Cement Association (Portland Cimentosu Birliği)	
ASTM	: American Standards of Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Standartları)	
GRI	: Geosynthetics Research Institute (Geosentetik Araştırma Enstitüsü)	
TFO	: Trafik Fayda Oranı	
USACE	: United States Army Corps of Engineers (Birleşik Devletler Ordu Mühendisleri Topluluğu)	
EAY	: Esdeğer Aks Yükü	
ТКО	: Tasıma Kapasitesi Oranı	
ISO	: International Standards Organization (Uluslar arası Standartlar Organizasyonu)	
ACN	: Aircraft Classification Number (Ucak Siniflandirma Numarasi)	
PCN	: Pavement Classification Number (Kaplama Sınıflandırma Numarası)	

TABLO LİSTESİ

<u>Sayfa No</u>

Tablo 2.1. :	Bazı uçakların karakteristik özellikleri	5
Tablo 2.2. :	Ana iniş takımı düzenleri ve tipik lastik basınçları	6
Tablo 2.3. :	FAA hava alanı sınıflandırması	11
Tablo 2.4. :	ICAO hava alanı sınıflandırması	12
Tablo 2.5. :	ICAO sınıflandırmasına göre pistlerin genişliği	16
Tablo 2.6. :	ICAO sınıflandırmasına göre pistlerin eğimi	16
Tablo 2.7. :	ICAO sınıflandırmasına göre pist şeridi genişliği	16
Tablo 2.8. :	ICAO sınıflandırmasına göre pist şeridi eğimi	17
Tablo 2.9. :	FAA sınıflandırmasına göre a ve b yaklaşım kategorileri için	
	pistin geometrik özellikleri	17
Tablo 2.10:	FAA sınıflandırmasına göre c, d ve e yaklaşım kategorileri için	
	pistin geometrik özellikleri	18
Tablo 2.11:	FAA sınıflandırmasına göre pistin eğim değerleri	18
Tablo 3.1. :	İniş takımı dönüşüm katsayıları	25
Tablo 3.2. :	Örnek trafik tahmini	26
Tablo 3.3. :	Tasarım uçağı ile ilgili dönüşümler	27
Tablo 3.4. :	Çift tandem lastik düzeni için eğilme katsayıları	32
Tablo 3.5. :	Çeşitli deformasyon katsayıları	33
Tablo 3.6. :	Temel tabakası minimum kalınlık değerleri	35
Tablo 3.7. :	Yoğun trafik için kaplama kalınlığının tespiti	36
Tablo 3.8. :	Alt temel inşaasını gerektirmeyen durumlar	37
Tablo 3.9. :	İzin verilen gerilmenin tespiti için kullanılacak güvenlik	
	katsayıları	39
Tablo 4.1. :	Polimerlerin bazı karakteristik özellikleri	43
Tablo 4.2. :	Kuzey Amerika'da geosentetik satışları (1995)	44
Tablo 4.3. :	Geosentetiklerin temel fonksiyonları	49
Tablo 4.4. :	Çeşitli uygulamalar için azaltma katsayıları	65
Tablo 4.5. :	Taban zemini dayanımına göre donatı seçimi	75
Tablo 5.1. :	Tensar firmasının BX 1100 ve BX 1200 geogridlerinin	
	karakteristik özellikleri	80
Tablo 5.2. :	USACE deneyinde kullanılan geogridlerin özellikleri	85
Tablo 5.3. :	FAA tarafından istenilen derecelenme değerleri	87
Tablo 5.4. :	FAA' ye göre donatı olarak kullanılacak geogridlerin	
	karakteristik özellikleri	88
Tablo 5.5. :	Waterloo üniversitesi deneyi grupları	91
Tablo 5.6. :	Arazide geosentetikle donatılmış esnek kaplama deneyinde	
	kullanılan bazı geosentetiklerin mukavemet özellikleri	95
Tablo 5.7. :	Arazide geosentetikle donatılmış esnek kaplama deneyi sonuçları	97
Tablo 6.1. :	Inchon hava alanında kullanılan geogridin karakteristik	
	özellikleri	109

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sayfa No</u>

Şekil 2.1.: Səkil 2-2 :	Uçakların geometrik boyutlarının şematik gösterimi.	7	
Şekli 2.2 Solzil 2 3 •	Uçakların hanat açıklıklarının yıllara göre değişimi 8		
Şekii 2.5 Sabil 2 1 ·	Uçakların uzunluklarının ve yüksekliklerinin yıllara göre	0	
ŞUNII 2.7	değişimi	9	
Sekil 2.5 ·	Uçakların iniş takımları araşı meşafesinin vıllara göre değişimi 1		
Şekil 2.6.:	Hava alanlarında niştlerle ilgili bölgelerin sematik gösterimi	13	
Şekil 2.7.:	Hava alanlarında pistlerle ilgili bölgelerden durma uzantısının	15	
ş enn 20 700	sematik gösterimi	14	
Sekil 2.8.:	Hava alanlarında pistlerle ilgili bölgelerden asma sahasının		
3	sematik gösterimi	14	
Sekil 2.9.:	İstanbul Atatürk hava alanının havadan görünüşü	15	
Sekil 2.10.:	Seyahat mesafesi – pist uzunluğu ilişkişi	19	
Şekil 2.11.:	Kalkış ağırlığı ile pist uzunluğu arasındaki ilişki (Boeing 737-		
-	200)	20	
Şekil 2.12.:	İniş ağırlığı ile pist uzunluğu arasındaki ilişki (Boeing 737-200)	21	
Şekil 3.1.:	Tipik esnek ve rijit kaplama kesitleri	24	
Şekil 3.2.:	Tek lastik ve çift lastik yükünün kaplamada oluşturduğu		
	deformasyonun karşılaştırılması	29	
Şekil 3.3.:	Lastik temas yüzeyleri ve analiz noktaları	29	
Şekil 3.4.:	Çeşitli derinlikler için deformasyon katsayıları	31	
Şekil 3.5.:	Yük tekrar katsayıları	31	
Şekil 3.6.:	Örnek çift tandem düzen	32	
Şekil 3.7.:	Esnek kaplamalarda tek lastik durumu için tasarım eğrisi	34	
Şekil 3.8.:	Rijit kaplamalarda tek lastik yükü için verilen tasarım eğrisi	40	
Şekil 4.1.:	Geosentetik malzemeler 44		
Şekil 4.2.:	Geotekstillerin mikro fotoğrafları	46	
Şekil 4.3.:	Bir geogridin kol, açıklık ve düğüm noktaları	47	
Şekil 4.4.:	Düzlemsel geogridlerin üretim süreci şeması	48	
Şekil 4.5.:	Kaplama yapılarında ayırma fonksiyonu	50	
Şekil 4.6.:	Lastik basıncının kaplama boyunca dağıtılması	50	
Şekil 4.7.:	Geotekstilsiz ve geotekstilli durumda kaplama kesiti	51	
Şekil 4.8.:	Geotekstilsiz ve geotekstilli durumda filtreleme	52	
Şekil 4.9.:	Bir dren yapısında filtre geotekstili kullanımı	53	
Şekil 4.10.:	Drenaj fonksiyonu örneği	54	
Şekil 4.11.:	Bir atik depolama alanında koruyucu geotekstil örneği	54	
Şekil 4.13.:	Donatili șev ornegi.	56	
Şekil 4.14.:	I emel tabakasında yatay mesnetlenme etkisi	57	
Şekii 4.15.:	I emel tabakasında membran etkisi	57	
Şekil 4.16.:	i emeide membran etkisi uzerine yapılan deneyin sonucu	38	
Şekil 4.17.:	Kaplamalarda geosentetik tipinin seçimi	59	

Şekil 4.18.:	Kenetlenme mekanizması	60	
Şekil 4.19.:	Geogrid donatılı temellerin performansı (Webster)		
Şekil 4.20.:	Geotekstillerle geogridler arasındaki temel fark		
Şekil 4.21.:	Geogrid yükleme piramitleri		
Şekil 4.22.:	Donatı fonksiyonunda geotekstillerle geogridlerin		
	karşılaştırılması (Barksdale)	63	
Şekil 4.23.:	Temel dolgularında geogrid yerleşimi	64	
Şekil 4.24.:	Geogridin temel tabakasındaki yerinin etkileri üzerine yapılan		
	deneyin sonucu (Webster)	64	
Şekil 4.25.:	Taban zemini göçme mekanizmalarının deneysel gösterimi	67	
Şekil 4.26.:	Geogrid kollarının köşeli ve eğimli enkesiti	70	
Şekil 4.27.:	Tensar yönteminde geogridin yerleşimi	71	
Şekil 4.28.:	Tensar yöntemi örneği	73	
Şekil 4.29.:	Örnek pist kesiti	73	
Şekil 4.30.:	ACN değerine göre dolgu kalınlıklarının tespiti	74	
Şekil 4.31.:	SS 30 geogridi geometrik boyutları	75	
Şekil 4.32.:	Donatılı ve donatısız halde alt temel tabakası kalınlığının		
	karşılaştırılması	76	
Şekil 5.1.:	Alaska üniversitesi'nde geogrid donatılı kaplamalarla ilgili		
	yapılan deney için hazırlanan düzenek	78	
Şekil 5.2.:	Alaska üniversitesi'nde geogrid donatılı kaplamalarla ilgili		
	yapılan deneyde taban zemini ile temel tabakasının dane çapı		
	dağılımı	79	
Şekil 5.3.:	Geogrid donatılı kaplamalarla ilgili yapılan deneyde 1,91 cm		
	yüzey deformasyonu için trafik fayda oranı ile temel tabakası		
	kalınlığı arasındaki ilişki	81	
Şekil 5.4.:	Geogrid donatili kaplamalarla ilgili yapılan deneyde 2,54 cm		
	yüzey deformasyonu için trafik fayda oranı ile temel tabakası	0.4	
~ <i></i>	kalınlığı arasındakı ılışkı	81	
Şekil 5.5.:	Geogrid donatili kaplamalarla ilgili yapılan deneyde 3,18 cm		
	yüzey deformasyonu için trafik fayda orani ile temel tabakası	•••	
a b b c c	kalınlığı arasındakı ilişki.	82	
Şekil 5.6.:	USACE tarafından esnek kaplamalarda hafif uçaklar için trafik		
	fayda oranının tespiti için yapılan deneyde gezinen yukler altında	0.2	
G 1 1 <i>5 7</i>		83	
Şekii 5. /.:	USACE tarafından esnek kaplamalarda nafif uçaklar için trafik		
	layda oranının tespiti için yapılan deneyde kanalize yükler	01	
Caluil 5 9 .	LISA CE tarafından agnalı kanlamalarda hafif yaşıklar için yanılan	84	
Şekii 5.8.:	donovdo vält toltror govnot ile värgev deformogyony orogindelti		
	ilielei	96	
Salvil 5 0 .	IIIŞKI	00	
ŞEKII 3.7	donovdo ogiklik stabilito modülü ile trafik favda oranı araşındaki		
	iliski	86	
Sekil 5 10 ·	FAA tarafından hafif ucaklar için verilen donatılı ve donatısız	00	
ŞUNII J.IV.,	haldeki temel tahakasi kalinliği arasındaki ilişki	80	
Sekil 5 11 ·	Waterloo üniversitesinde esnek kanlamaların geogridlerle	0)	
yvnii 3+11++	donatılması üzerine yanılan denevde kullanılan düzenek	90	
Sekil 5-12 ·	Waterloo üniversitesinde esnek kanlamaların geogridlerle	20	
	donatılması üzerine vanılan calısmalarda ı grun denev sonucları	92	

Şekil 5.13.:	Arazide geosentetikle donatılmış esnek kaplama deneyi için	
C)) = 4 4	hazirlanan yol plani	93
Şekil 5.14.:	Arazıde geosentetikle donatilmiş esnek kaplama deneyi için	
Sekil 5.15.:	Arazide geosentetikle donatilmis esnek kaplama denevinde	
şenin erren	vüzev deformasvonunun tespiti	95
Sekil 5.16.:	Arazide geosentetikle donatilmis esnek kanlama denevinde (9)	
şenn en on	numaralı kesitin görünüsü	96
Sekil 5.17.:	Yüzev deformasyonu ile yük tekrar sayısı arasındaki ilişki	
şenn en m	(Temel kalınlığı = 300 mm CRR= 3)	
Sekil 5.18.:	Yüzev deformasyonu ile yük tekrar sayısı arasındaki iliski	,0
şenin erren	(Temel kalınlığı = 500 mm CBR = 3)	98
Sekil 5.19.:	Yüzev deformasyonu ile yük tekrar sayısı arasındaki iliski	,0
şenin etriye	(Temel kalınlığı =500 mm_CBR=1)	99
Sekil 5.20.:	Yüzev deformasyonu ile yük tekrar sayısı arasındaki iliski	,,
şenn enzon	(Temel kalınlığı =400 mm_CBR=3)	100
Sekil 5.21.:	Yüzev deformasyonu ile yük tekrar sayısı arasındaki iliski	100
şenn erzin	(Temel kalınlığı = 300 mm CBR = 8)	100
Sekil 5.22.:	Geogrid kollarında 8000 yük tekrarından sonra ön (solda) ye arka	100
30	(sağda) lastik hizasında oluşan çekme deformaşyonu	101
Sekil 5.23.:	Geogrid ve geotekstil donatılarını karşılaştırmak için vapılan	101
şenn enzen	denevde kullanılan düzenek	102
Sekil 5.24.:	Geogrid ve geotekstil donatilarını karsılaştırmak için yanılan	
şenin et z m	denevde tasıma kapasitesi oranı ile donatı derinliği arasındaki	
	iliski	103
Sekil 5.25.:	Geogrid ve geotekstil donatılarını karsılastırmak icin vapılan	100
30	denevde tasıma kapasitesi oranı ile donatı tabakaları arası düsev	
	mesafe arasındaki iliski	104
Sekil 5.26.:	Geogrid ve geotekstil donatılarını karsılastırmak icin vapılan	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	denevde tasıma kapasitesi oranı ile donatı tabakaları sayısı	
	arasındaki iliski	105
Sekil 6.1.:	Inchon uluslararası hava alanının havadan görünüşü	106
Sekil 6.2.:	Inchon uluslararası hava alanında dolgu ve temel tabakası kesiti	107
Sekil 6.3.:	Inchon uluslararası hava alanında geogrid tabakasının	
,	yerleştirilmesi	108
Şekil 6.4.:	Inchon hava alanında geogrid, temel dolgusu ve yüzey kaplaması	109
Şekil 6.5.:	Inchon uluslararası hava alanında geogridin yerleştirme	
	hasarlarına ve kimyasal etkilere bağlı olarak çekme dayanımının	
	tespiti	110
Şekil A.1.:	Esnek kaplamalarda çift lastik durumu için tasarım eğrisi	121
Şekil A.2.:	Esnek kaplamalarda çift tandem durumu için tasarım eğrisi	122
Şekil A.3.:	Esnek kaplamalarda A-300 uçağı için tasarım eğrisi	123
Şekil A.4.:	Esnek kaplamalarda B-747 –100-200 için tasarım eğrisi	124
Şekil A.5.:	Esnek kaplamalarda B-747 sp uçağı için tasarım eğrisi	125
Şekil A.6.:	Esnek kaplamalarda B-757 uçağı için tasarım eğrisi	126
Şekil A.7.:	Esnek kaplamalarda B-767 uçağı için tasarım eğrisi	127
Şekil B.1.:	Rijit kaplamalarda çift lastik yükü için verilen tasarım eğrisi	128
Şekil B.2.:	Rijit kaplamalarda çift tandem için verilen tasarım eğrisi	129
Şekil B.3.:	Rijit kaplamalarda A-300 için verilen tasarım eğrisi	129
Şekil B.4.:	Rijit kaplamalarda B-747 –100-200 için verilen tasarım eğrisi	130

Şekil B.5.:	Rijit kaplamalarda B-747 sp uçağı için verilen tasarım eğrisi	130
Şekil B.6.:	Rijit kaplamalarda B-757 uçağı için verilen tasarım eğrisi	131
Şekil B.7.:	Rijit kaplamalarda B-767 uçağı için verilen tasarım eğrisi	131
Şekil C.1.:	Tasarım eğrilerinde kabul edilen trafik yükü	132
Şekil C.2.:	80 kN'luk standart aks yükü için çeşitli tekrar sayılarına göre	
	tasarım eğrileri	133
Şekil C.3.:	Çift lastik yükü (9000 lb) halinde donatılı temel kalınlığı	134
Şekil C.4.:	Çift lastik yükü (12000 lb) halinde donatılı temel kalınlığı	135
Şekil C.5.:	Tek lastik yükü (32000 lb) halinde donatılı temel kalınlığı	136
Şekil C.6.:	Tek lastik yükü (60400 lb) halinde donatılı temel kalınlığı	137
Şekil C.7.:	Çift lastik yükü (46000 lb) halinde donatılı temel kalınlığı	138
Şekil C.8.:	Çift lastik yükü (100000 lb) halinde donatılı temel kalınlığı	139
Şekil C.9.:	İnce dane içermeyen iyi derecelenmiş kırmataş için verilen	
	tasarım eğrisi (R=0,5, K=0)(Huesker)	140
Şekil C.10.:	İyi derecelenmiş malzeme (yuvarlak daneli olabilir) için verilen	
	tasarım eğrisi (R=0,5, K=1)	141
Şekil C.11.:	Çakıllı kumdan killi çakıllı zeminlere (ince dane %10' dan az)	
	verilen tasarım eğrisi (R=0,5, K=2)	142
Şekil C.12.:	İnce dane içermeyen iyi derecelenmiş kırmataş için verilen	
	tasarım eğrisi (R=2, K=0)	143
Şekil C.13.:	İyi derecelenmiş malzeme (yuvarlak daneli olabilir) için verilen	
	tasarım eğrisi (R=2, K=1)	144
Şekil C.14.:	Çakıllı kumdan killi çakıllı zeminlere (ince dane %10' dan az)	
	verilen tasarım eğrisi (R=2, K=2)	145
Şekil C.15.:	Înce dane içermeyen iyi derecelenmiş kırmataş için verilen	
	tasarım eğrisi (R=5, K=0)	146
Şekil C.16.:	İyi derecelenmiş malzeme (yuvarlak daneli olabilir) için verilen	
	tasarım eğrisi (R=5, K=1)	147
Şekil C.17.:	Çakıllı kumdan killi çakıllı zeminlere (ince dane %10' dan az)	
	verilen tasarım eğrisi (R=5, K=2)	148
Şekil C.18.:	Ince dane içermeyen iyi derecelenmiş kırmataş için verilen	
	tasarım eğrisi (R=10, K=0)	149
Şekil C.19.:	lyi derecelenmiş malzeme (yuvarlak daneli olabilir) için verilen	
	tasarım eğrisi (R=10, K=1)	150
Şekil C.20.:	Çakıllı kumdan killi çakıllı zeminlere (ince dane %10' dan az)	
	verilen tasarım eğrisi (R=10, K=2)	151

SEMBOL LİSTESİ

Т	• Havaalanı referans sıcaklığı		
T ₀	: Yılın en sıcak ayının ortalama günlük sıcaklığı		
	: İlgili ayın maksimum günlük sıcaklıkların ortalaması		
\mathbf{R}_1	: Tasarım ucağı esdeğer vıllık kalkıs savısı		
\mathbf{R}_{2}	: Tasarım uçuğı inis takımı çinsinden vıllık kalkıs savısı		
\mathbf{W}_{1}	: Tasarım uçağı lastik vükü		
W ₂	: Hesaplanan ucağın lastik yükü		
r	: Lastik temas alanı yarıcapı		
Α	: Lastik temas yüzeyi alanı		
F	: Düşey yük, reaksiyon		
Р	: Lastik basıncı		
Fs	: Tek lastik yük şiddeti		
$\mathbf{F}_{\mathbf{m}}$: Çoklu lastik yük şiddeti		
f _s	: Tek lastik eğilme katsayısı		
f _m	: Çoklu lastik eğilme katsayıları		
t	: Esnek kaplama kalınlığı		
N_w	: İniş takımındaki lastik adedi		
αi	: Yük tekrarlanma katsayısı		
Z	: Sehim		
k	: Doğal zemin yatak katsayısı		
E	: Betonun elastisite modülü		
d	: Beton tabakanın kalınlığı		
μ	: Betonun poison oranı		
a,b	: Lastik temas alani boyutlari		
	: Izin verilen çekme dayanımı		
T _{ult}	: Nihai çekme dayanımı		
R _y	: Y erleştirme hasarları için katsayı		
K _s D	: Sunme için katsayı		
K _k D	: Kimyasal bozunma için katsayı		
К b	: Diyolojik bozullila içili katsayı		
a h	· Dorinlik		
II a	. Delillik . Tahan zemininin tasıma güçü		
Ч	: 1 aban Zemininin taşıma gucu		
Cu N	: Dienajsiz Kayma dayanimi • Tahan zemini tasıma güçü katçayışı		
m	: Tauan zemini taşıma gucu katsayısı • Tasıma gücü mobilizasyon katsayısı		
 a.	: Donatısız halde zeminin tasıma güçü		
Чu Ør	: Donatılı halde zeminin taşına güçü		
יזי Ωf	: Dolgunun tasıma gücü		
Zr	: Donatili halde dolgu kalınlığı		
Zu	: Donatısız halde dolgu kalınlığı		
-			

Üniversitesi	: İstanbul Teknik Üniversitesi
Enstitüsü	: Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	: İnşaat Mühendisliği
Programi	: Geoteknik Mühendisliği
Tez Danışmanı	: Prof. Dr. Mete İNCECİK
Tez Türü ve Tarihi	: Yüksek Lisans – Mayıs 2003

HAVA ALANI PİSTLERİNDE TEMEL DOLGUSUNUN GEOSENTETİK İLE DONATILMASI

ÖZET

Bu çalışmada; hava alanlarında, pistlerin temel dolgusunun geosentetikler ile donatılması incelenmiştir. Donatı terimi; çekme kuvvetlerine karşı zayıf bir malzeme olan zeminin, geosentetikler gibi çekme dayanımı olan bir malzeme kullanılarak güçlendirilmesini ifade etmektedir.

Karayolları ve hava alanlarındaki kaplamalarda, trafik yüklerinin oluşturduğu gerilmelere karşı ek bir dayanım sağlamak için, geotekstiller ve geogridler kullanılmaktadır. Literatürde yer alan bir çok deneysel çalışmaya göre geogridler, geotekstillere göre daha üstün bir donatı malzemesidir. Hava alanlarında temel dolgusunun donatılmasında kullanılacak olan geogridlerin, özellikle bağlantı noktalarının dayanımı ve geogridin düzlemsel burkulma rijitliği gibi bazı karakteristik değerleri önem taşımaktadır.

Geosentetikler, kaplamalara üç şekilde fayda sağlayabilmektedir. Bunlardan ilki, aynı kaplama kesiti ile daha büyük trafik yükü taşınabilmesi; ikincisi, aynı trafik yükü altında kaplamanın daha uzun ömürlü olabilmesi ve son olarak aynı trafik yükünün daha küçük kesitlerle taşınabilmesidir. Bu çalışmada, geosentetik donatı ile dolgu kalınlığının azaltılması incelenmiştir. Bu amaç ile, zayıf bir taban zemini üzerine inşaa edilecek bir kaplama için orta seviyede trafik yükü ve hacmi düşünülmüştür. Kaplamanın alt temel dolgusuna iki sıra halinde yerleştirilen geogrid donatının, temel dolgusu kalınlığını %30 oranında azalttığı gösterilmiştir.

Donatılı temel tabakası kalınlığının tayininde, geosentetik üreten firmaların geliştirdiği bilgisayar programlarının yanı sıra bilgisayar destekli sonlu elemanlar yöntemi de kullanılabilir. Bilgisayar destekli sonlu elemanlar yönteminde; gerek geosentetik donatının, gerekse tüm kaplamanın trafik yükleri altında davranışları ortaya konulabilmekte, sistemde oluşan kesit tesirleri ile trafik yükleri altında sistemin deforme olmuş hali belirlenebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Geosentetikler, Hava alanı pisti, Temel dolgusu, geogrid, donatı Bilim Dalı Sayısal Kodu: 624

University	: Istanbul Technical University
Institute	: Institute of Science and Technology
Science Programme	: Civil Engineering
Programme	: Geotechnical Engineering
Supervisor	: Prof. Mete İNCECİK
Degree Awarded and Date	: MSc – May 2003

REINFORCEMENT OF BASE COURSE OF AIRPORT RUNWAYS WITH GEOSYNTHETICS

ABSTRACT

In this thesis, geosynthetic reinforced runway base courses of an airport was examined. The term "Reinforcement" means to strengthen soil, which is good in compression and poor in tension, by combining with a tensile element such as geosynthetics.

The geotextiles and the geogrids are being used for obtaining additional support against stresses generated by traffic loads in airport and highway pavements. The geogrids are better reinforcement materials compared with geotextiles in terms of many experimental studies in the geotechnical engineering literature. The geogrid, which is intended to reinforce runway base courses, should satisfy particularly junction strength and in-plane torsional rigidity.

The geosynthetic reinforcement for pavements may be used for three essential purposes. The first one is to improve the service life of pavements, the second is to improve the traffic loads carrying capacity of pavements and the last one is to obtain equivalent performance with a reduced structural section. In this research, the last one was only examined. As an example, an airport runway pavement section constructed above a weak subgrade, subjected to a medium level of traffic load and traffic volume was assumed. Two layers of biaxial geogrids were inserted within the subbase to reduce the fill thickness. As a result of the example, the subbase fill thickness was reduced by 30%, which is very significant value.

To determine reinforced base thickness, the computer programs developed by geosynthetic manufacturers or computer programs based on the finite elements method may be considerably chosen and used. The behavior of geosynthetic material and pavement under traffic loads, the deformed shape of the pavement and the stresses caused by traffic loads can be determined by using software programs based on the finite elements method.

Keywords: Geosynthetics, Airport runways, base course, geogrid, reinforcement Science Code: 624

1. GİRİŞ

Geosentetik malzemeler, inşaat sektöründe daha önce üretilen diğer ürünlere göre en çabuk benimsenen ve pazarı en hızlı büyüyen malzemelerdir. Polimer esaslı bu ürünler; ucuz, çevre koşullarına karşı dayanıklı, çabuk uygulanabilen ve geleneksel malzemelere kıyasla tasarım kolaylıkları sağlayan düzlemsel ürünlerdir. İnşaatlarda zemin, kaya ve benzeri malzemeler ile birlikte kullanılan geosentetiklerin, bu uygulamalardaki işlevleri; ayırma, filtrasyon, drenaj, donatı, koruma ve yalıtım olarak sayılabilir. Bu çalışmada, havaalanlarında kaplama dolgularının geosentetikler ile donatılması incelenmiştir. Burada donatı (Reinforcement) terimi, kaplama dolgularında trafik yükü altında oluşan çekme kuvvetlerinin geosentetikler ile karşılanarak, kaplamanın güçlendirilmesini ifade etmektedir.

Havaalanlarında kaplamalar yapı itibarı ile esnek ve rijit olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Bir esnek kaplama, bitümlü bir yüzey tabakasının altına inşaa edilmiş bir ya da daha fazla dolgu tabakasından oluşur. Rijit kaplamalarda ise yüzey malzemesi olarak beton kullanılmaktadır. Donatı elemanı olarak kullanılacak geosentetik malzemeler, kaplamaların dolgu tabakalarına yerleştirilmektedir. Geosentetiklerin donatı işlevi kaplamalara üç şekilde fayda sağlayabilmektedir:

- i. Aynı kaplama kesiti ile daha fazla trafik yükü taşınabilmesi,
- ii. Aynı trafik yükü altında kaplamanın çok daha uzun ömürlü olabilmesi,
- iii. Aynı trafik yükünün daha küçük kesitler ile taşınabilmesidir.

Havaalanlarında kaplamalar, karayollarından farklı olarak çok daha büyük yüklere maruz kalırlar. Havaalanlarındaki lastik yükleri, karayollarına göre yaklaşık on kat, lastik basınçları ise yaklaşık iki kat daha fazladır. Uçakların iniş takımlarındaki lastik sayısı ve yerleşimi düzenlenerek, havaalanlarındaki kaplamaların, büyük lastik yükleri ile aynı oranda büyük lastik basınçlarına maruz kalmaması sağlanmıştır. Havaalanlarındaki trafik yükleri, karayollarına göre kaplama genişliği boyunca daha düzgün dağılmaktadır. Yapılan gözlemlere göre uçak hareketleri pistin orta ekseninde yoğunlaşmaktadır. Bu sebepten havaalanlarında pist ve dolanma (Taksi yolları) yollarının kaplamaları, karayollarına göre çok daha yıkıcı etkilere maruz kalmaktadır. Bir uçağın kalkış ağırlığı, iniş ağırlığına göre çok daha fazladır. Uçağın pisten kalkış anında pist kaplamasına uyguladığı yük, hareketsizken ya da yavaş hareket ederken uyguladığı yükten %20 daha fazladır. Havaalanlarında kaplamalarının bu karakteristik özelliklerine ilaveten, teknolojinin gelişimine de paralel olarak, uçak boyutlarının gün geçtikçe büyüyor olması bu yapılara gelen yüklerin daha da artmasına sebep olmaktadır. Bu amaçla Bölüm 2' de havaalanlarını kullanacak olan uçakların günümüzdeki ve gelecekteki karakteristik özellikleri incelenerek, gelecekte pistlerin ekonomik olarak inşaasında geosentetik kullanımının bir zorunluluk olacağı ortaya konulmuştur. Bölüm 2' de hava alanı sınıflandırma yöntemleri ile pistlerin genişlik, uzunluk ve eğim gibi diğer geometrik boyutlarının tayini de anlatılmıştır.

Bölüm 3' te havaalanlarında kaplamaların dolgu kalınlığının, geleneksel yöntemler ile tayini anlatılmıştır. Bunun için öncelikle hava alanında tasarım için kullanılacak uçağın karakteristik özelliklerinin belirlenmesi incelenmiş ve buna göre esnek ve rijit kaplamaların kalınlığının bulunması gösterilmiştir.

Bölüm 4' te geosentetik malzemeler hakkında genel bilgiler verilmiş ve bu malzemelerin fonksiyonları anlatılmıştır. Bu bölümde donatı fonksiyonu, diğer fonksiyonlara göre daha detaylı olarak incelenmiştir. Kaplamalarda donatı elemanı olarak kullanılan geosentetikler, geotekstil ve geogridlerdir. Bu malzemelerin kaplamalarda dolgu tabakalarının donatılmasındaki mekanizmaları incelenerek, ikisi arasındaki farklar ortaya konulmuş ve havaalanlarında geogridlerin donatı için daha uygun olduğu tespiti yapılmıştır. Bölüm 4' te son olarak kaplamalarda donatılı dolgu tabakası kalınlığının tespiti anlatılmış, havaalanlarında örnek bir trafik yükü için bulunan dolgu kalınlıkları donatılı ve donatısız haller için karşılaştırılmıştır.

Bölüm 5' te ise donatı elemanı olarak daha üstün bir form olan geogridlerin, bu işlevinin incelendiği deneysel çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir. Bu çalışmaların ışığında geosentetiklerin kaplamalardaki performansı ve havaalanlarında donatı elemanı olarak kullanılacak geosentetiklerin önemli karakteristik özelikleri ortaya konulmuştur. Bu amaçla kullanılacak geogridin, özellikle düzlemsel burkulma dayanımı ve bağlantı noktalarının gelen kuvvetlere karşı dayanımının önemli olduğu belirtilmiştir.

Son olarak Bölüm 6' da geogridlerin temel dolgularında donatı elemanı olarak kullanıldığı havaalanlarından Inchon uluslararası hava alanı (Güney Kore) hakkında genel bilgiler verilmiş ve kullanılan hesap yöntemi anlatılarak bu çalışmada ulaşılan sonuçlar ortaya konulmuştur.

2. HAVA ALANLARINDA PİST TASARIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

17 Aralık 1903'te, A.B.D.' nin Kuzey Carolina bölgesinde bir bisiklet tamircisi olan Orville Wright' ın motorlu bir araçla 36 m' ye kadar yükselmesi havacılık tarihinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir. O günden günümüze, gelişen teknoloji ile birlikte havacılık büyük değişimlere uğramıştır. Günümüzde hava yolu ile yapılan yolcu ve kargo taşımacılığı, ulaşım sektöründe önemli bir paya sahiptir. Bu da uçak tasarımındaki gelişmelerin bir sonucudur. Zaman içerisinde uçakların geometrik boyutları önemli artışlar göstermiştir. Bu artış eğilimi günümüzde de sürmektedir. Uçakların geometrik boyutlarının artması, taşıma kapasitelerini arttırmaktadır. Buna karşın, havaalanlarının bu değişimlere ayak uydurabilme zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Havaalanlarının maruz kaldığı trafik yüklerinin gün geçtikçe artması, pistlerin ekonomik olarak tasarımında yeni malzemeler kullanımını zorunlu hale getirecektir. Bu sebepten günümüzde pist kaplamalarında zor şartlar için kullanılan

Hava alanı tasarımında uçakların karakteristik özellikleri göz önüne alınmaktadır. Günümüzde halen kullanılmakta olan uçakların karakteristik özellikleri, birbirlerine göre büyük farklılıklar göstermektedir. Örneğin bir Boeing 747-SP' nin uzunluğu 54 m, kanat açıklığı 60 m iken, bir Cessna 150 için aynı değerler sırasıyla 7 m ve 10 m' dir. Bu sebepten havaalanları, kullanım amacı ve hizmet vereceği uçakların tiplerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmalardan en önemlileri Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (ICAO) ve Amerikan Federal Havacılık Dairesi (FAA) tarafından yapılan sınıflandırmalardır. Havaalanlarının sınıflandırılması sureti ile havaalanlarındaki pist, taksiyolu (dolanma yolları), apron ve diğer tesislerin tasarımında bir standart temin edilmiş olur.

Pistler, uçakların inip kalktığı dikdörtgen şeklindeki kaplanmış alanlardır. Taksiyolları ise uçakların piste giriş- çıkış, apronlara gidiş gibi yer manevralarını yapabilmesi için inşaa edilen kaplanmış yollardır. Uçakların yükleme–boşaltma, yakıt ikmali, park ve bakımı için ayrılan alanlar ise apron olarak adlandırılmaktadır. Pistlerin, taksiyollarının ve apronların geometrik boyutları hava alanının sınıfına göre belirlenmektedir. Pist uzunluğunun belirlenmesinde; hava alanının standart sıcaklığı, pist yüzeyindeki hakim rüzgar, pist eğimi, hava alanının kotu ve pist yüzeyinin durumu belirleyici etkenlerdir. Kaplamaların dolgu kalınlığının tayini için çeşitli yöntemler söz konusudur. Bu yöntemler Bölüm 3' te açıklanmıştır. Pistin genişliği, uzunluğu ve kalınlığının tespitinde uçak üreticileri tarafından temin edilen uçak performans dataları önem taşımaktadır.

2.1. Uçakların Karakteristik Özellikleri

Uçakların karakteristik özellikleri hava alanı tasarımında belirleyici rol oynar. Örneğin bir uçağın ağırlığı; kaplamaların dolgu kalınlığını, iniş ve kalkış pistlerinin uzunluğunu belirleyen etkenlerden biridir. Uçakların kanat açıklığı ve gövde boyu gibi geometrik özellikleri de pist genişliği, karşıt trafik yönleri arası mesafe, apronların büyüklüğü, terminal binalarının yerleşimi ve virajlı pistlerde dönme yarıçapını etkilemektedir. Tablo 2.1' de halen kullanımda olan bazı uçakların karakteristik değerleri yaklaşık olarak verilmiştir.[1]

Bir uçağın boş ağırlığı; uçağın zati ağırlığı, mürettebat ağırlığı ve uçuş için gerekli donanımlar (İniş takımları, motor vs.) dahil, kargo ve yakıt hariç ağırlığından oluşur. Maksimum kalkış ağırlığı ise uçağın boş ağırlığına ilaveten seyahat için gerekli toplam yakıtın ağırlığı (Yer manevraları için kullanılan yakıt hariç) ve ticari yüklerin ağırlığının toplamından oluşur. Bir uçakta ticari (Gelir getiren) yükler; yolcular, yolcu bagajları, posta ve kargo yükleridir. Maksimum iniş ağırlığı; uçağın boş ağırlığı, yer manevraları için gerekli yakıtın ağırlığı ve ticari yüklerin ağırlığının toplamından oluşur. İniş sırasında oluşan yüklerin absorbe edilmesini sağlayan ana iniş takımları, maksimum iniş ağırlığına göre tasarlanmaktadır. Maksimum iniş ağırlığı arttıkça kullanılacak ana iniş takımı ağırlığı da artmaktadır.

Tablo 2.1 detaylı incelenecek olursa; uçakların kanat açıklıklarının 60 m' ye kadar, toplam uzunluklarının ise 70 m' ye kadar çıkabildiği gözlenebilir. Uçakların boş ağırlıkları 180 ton, maksimum kalkış ağırlıkları 360 ton değerlerine kadar yükselebilmektedir. Tablo 2.1' de verilen pist uzunluğu değerleri 1.5 km ila 4.5 km arasında değişebilmekte olup; değerler normal, rüzgarsız bir günde, deniz seviyesinde ve eğimli olmayan pistler için verilmiştir. Şekil 2.1' de Tablo 2.1' de bahsedilen uçakların geometrik boyutları şematik olarak gösterilmiştir. Tablo 2.2' de bazı uçaklar için iniş takımı konfigürasyonu ve lastik basınçları verilmiştir. Tablo 2.2 incelenecek olursa tipik lastik basınçları; çift lastik için 170 psi, çift tandem lastik için 190 psi, ikili çift tandem lastik için 205 psi ve son tip için 165 psi' lik öngörülebilir.[1]

			BOYUT	LAR(m)		AĞI	AĞIRLIKLAR (ton)			
Model	Üretici Firma	Kanat Açıklığı	Uzunluk	İniş Takımları Arası Mesafe	Ana İniş Takımları Arası Mesafe	Maksimum Kalkış Ağırlığı	Maksimum İniş Ağırlığı	Boş Ağırlık	Uzunluğu (m)	
A-300-600	Airbus Industrie	44,8	53,5	18,6	9,6	165,0	138,0	89,4	2316,5	
A-310-300	Airbus Industrie	43,9	46,7	15,2	9,6	150,0	123,0	77,0	2308,9	
A-320-200	Airbus Industrie	33,9	37,6	12,6	7,6	72,0	61,0	38,2	1716,0	
A-340-200	Airbus Industrie	60,3	59,4	19,2	5,1	253,5	181,0	122,5	2316,5	
B-727-200	Boeing	32,9	46,7	19,3	5,7	83,8	68,0	46,2	2621,3	
B-737-200	Boeing	28,3	30,5	11,4	5,2	45,4	43,1	27,2	1706,9	
B-737-300	Boeing	28,9	33,4	12,4	5,2	56,5	51,7	31,5	1920,2	
B-737-400	Boeing	28,9	36,4	14,3	5,2	62,8	54,9	33,2	2225,0	
B-737-500	Boeing	28,9	31,0	11,1	5,2	52,4	49,9	31,3	1554,5	
B-747-100	Boeing	59,6	70,7	25,6	11,0	322,1	255,8	162,4	2895,6	
B-747-200B	Boeing	59,6	70,7	25,6	11,0	351,5	255,8	172,9	3718,6	
B-747-300	Boeing	59,6	70,7	25,6	11,0	322,1	255,8	177,0	2347,0	
B-747-400	Boeing	64,9	70,7	25,6	11,0	362,9	260,4	179,7	2682,2	
B-747SP	Boeing	59,6	56,3	20,5	11,0	285,8	204,1	147,7	2133,6	
B-757-200	Boeing	38,0	47,3	18,3	7,3	99,8	89,8	58,2	1767,8	
B-767-200	Boeing	47,6	48,5	19,7	9,3	142,9	123,4	80,1	1828,8	
B-767-300	Boeing	47,6	54,9	22,8	9,3	156,5	136,1	84,5	2438,4	
B-777-200	Boeing	60,9	63,7	25,9	11,0	242,7	201,9	135,9	2651,8	
DC-8-73	Mc.Donell-Douglas	45,2	57,1	23,6	6,4	161,0	117,0	75,5	3048,0	
DC-9-32	Mc.Donell-Douglas	29,1	36,4	16,2	5,0	54,9	49,9	25,9	1685,5	
DC-9-51	Mc.Donell-Douglas	28,4	40,7	18,6	4,9	54,9	49,9	29,4	2164,1	
MD-81	Mc.Donell-Douglas	32,9	45,1	22,1	5,1	63,5	58,1	35,3	2209,8	
MD-87	Mc.Donell-Douglas	32,9	39,8	19,2	5,1	67,8	59,0	34,0	2316,5	
MD-90-30	Mc.Donell-Douglas	32,9	46,5	23,5	5,1	70,8	64,4	39,3	2072,6	
DC-10-10	Mc.Donell-Douglas	47,3	55,5	22,1	10,7	195,0	164,9	108,9	2743,2	
DC-10-30	Mc.Donell-Douglas	50,4	55,5	22,1	10,7	259,5	182,8	121,2	2831,6	
DC-10-40	Mc.Donell-Douglas	50,4	55,5	22,1	10,7	251,7	182,8	122,6	4419,6	
MD-11	Mc.Donell-Douglas	52,0	61,4	24,6	10,7	273,3	195,0	129,7	2987,0	
CONCORDE	Aerospatiale/BAC	25,6	62,6	18,2	7,7	185,1	111,1	79,4	3444,2	

Tablo2.1. Bazı Uçakların Karakteristik Özellikleri

				Öl	çüler (c	m)		Tipik Lastik	
	Ana İniş Takımı Yerleşimi	Uçak Modeli	Х	Y	Z	U	V	Basınçları (psi)	
tik imi		B-727	86,4					168	
it Las 5 Tak	X H	B-737	77,5					148	
Çif İniş		MD-81	71,4					170	
		A-300, A-310	92,7	139,7				181 - 172	
		A-320	78,0	100,3				149	
		B-707-120B	86,4	142,2				170	
Ē	X	B-707-320B	87,9	142,2				180	
Takı		B-720B	81,3	124,5				145	
ı İniş		B-757	86,4	114,3				161	
ndem		B-767	114,3	142,2				184	
ft Ta	fî Tar	Concorde	67,1	166,9				184	
Ċ.		DC-8-61	76,2	139,7				188	
		DC-8-62, DC-8-63	81,3	139,7				187 - 196	
		DC-10-10	137,2	162,6				173	
		L1011-500	132,1	177,8				184	
m	X	B 747 - 100						192	
Takı		В 747 - 200						204	
i İniş		B 747 - 400						195	
İkili Çift Tandem		B747-SP	110,0	137,2	307,6	358,1		205	
n ve Çift Lastik Takımı	ve Çift Lastik	A-340	139,7	198,1	99,1	535,9	96,5		
Çift Tanden İniş		DC-10-30 DC-10-40	137,2	162,6	76,2	548,6	95,3	157 - 165	

Tablo 2.2. Bazı Uçakların Ana İniş Takımı Düzenleri Ve Tipik Lastik Basınçları





Şekil 2.1. Uçakların Geometrik Boyutlarının Şematik Gösterimi

Uçakların geometrik boyutları zaman içinde büyük değişiklikler göstermiştir. Günümüzde Boeing, McDonell Douglas ve Airbus Industrie gibi firmalar daha büyük süper jumbo jetleri tasarlamaktadırlar. Şekil 2.2' de son 30 yılda kullanıma giren büyük uçakların maksimum kalkış ağırlıklarındaki değişim verilmiştir. Grafik incelenecek olursa maksimum kalkış ağırlığında sürekli bir artış eğilimi gözlenebilir. Grafikteki üstteki çizgi uluslar arası uçuşlar yapan büyük uçakların, alttaki çizgi ise nispeten daha kısa uçuşlar yapan uçakların maksimum kalkış ağırlığındaki eğilimi vermektedir. Eğilimin aynen devam edeceği kabulü ile 20 yıl içinde uzak uçuşlar yapan uçakların 1,6 milyon lb (726 ton), kısa uçuşlar yapan uçakların ise 1 milyon lb (454 ton) maksimum kalkış ağırlıklarına ulaşabilecekleri tahmin edilebilir. Uçak ağırlığındaki artış uçağın uzunluğunu arttırmakta, buna bağlı olarak ta kanat açıklığı artmaktadır. Ticari uçakların kanat açıklıkları da son yıllarda artış göstermiştir. Sekil 2.3' te halen kullanımda olan ve gelecekte kullanıma girebilecek uçakların kanat açıklıklarındaki değisim verilmiştir. Buna göre kanat açıklıklarındaki artışın belli bir değere ulaştığında yavaşlayacağı tahmin edilmektedir. Bu tahminin yapılmasının iki sebebi vardır. Bunlardan birincisi kanat tasarımındaki gelişmelerdir. İkincisi ise, havaalanlarının fiziki özelliklerinin belli bir değerden daha uzun kanatlı uçaklara gerekli düzenlemeler yapılana kadar yetersiz kalacak olmasıdır.[4]



Şekil 2.2. Uçakların Maksimum Kalkış Ağırlıkların Yıllara Göre Değişimi [4]



Şekil 2.3. Uçakların Kanat Açıklıklarının Yıllara Göre Değişimi [4]

Büyük uçakların diğer karakteristik özellikleri uzunluk, kuyruk yüksekliği ve iniş takımları arası mesafedir. Bu boyutlar birbirleriyle doğrudan ilişkilidir. Örneğin iniş takımları arası mesafe uzunlukla doğru orantılıdır. Uçağın boyutları büyüdükçe kuyruk yüksekliği de artar. Gelecekte gövde boylarının 280-300 ft (Yaklaşık 80-90 m) ve buna bağlı olarak iniş takımları arası mesafenin 140-150 ft (Yaklaşık 40-45 m) ve kuyruk yüksekliğinin 80 ft. (Yaklaşık 25 m) mertebelerine ulaşması tahmin edilmektedir. Buna göre Şekil 2.4' te toplam uzunluk ve yükseklik özelliklerin, Şekil 2.5' te ise uçakların iniş takımları arası mesafesinin yıllara göre değişim grafiği verilmiştir.[4]



Şekil 2.4. Uçakların Uzunluklarının Ve Yüksekliklerinin Yıllara Göre Değişimi [4]

2.2. Havaalanlarının Sınıflandırılması

Uçaklar, kullanım amacına göre değişik boyutlarda imal edilmektedir. Hatta, aynı amaç için üretilen uçaklarda bile geometrik değerler birbirinden farklı olabilmektedir. Bu sebepten uçakların ve hava alanı tesislerinin tasarımında belli standartlar kullanılmaktadır. Bu sayede havaalanlarında pistlere gelecek trafik yüklerinin mertebesi belirlenmiş olur. Bu amaçla FAA ve ICAO, sivil havacılık için çeşitli sınıflandırmalar yapan organizasyonlardan bazılarıdır. Askeri havaalanlarının sınıflandırılmaları için de askeri birimlerce yapılan sınıflandırmalar mevcuttur.



Şekil 2.5. Uçakların İniş Takımları Arası Mesafesinin Yıllara Göre Değişimi [4]

2.2.1. FAA sınıflandırması

FAA sınıflandırması, havaalanlarını kullanacak uçakların karakteristik özelliklerini referans olarak kullanmaktadır. Buna göre uçak yaklaşım kategorisi ve uçak tasarım grubu olmak üzere iki kavram göz önüne alınmaktadır. Uçak yaklaşım kategorisini belirleyen uçak yaklaşım hızı, uçak iniş halindeyken ve ağırlığı izin verilen maksimum iniş ağırlığındayken düşmeden uçabileceği minimum hızın 1,3 katı olarak kabul edilmektedir. Uçak tasarım grubu ise uçağın kanat açıklığına göre belirlenir. Bu iki kritere göre havaalanlarının sınıfı tespit edilmektedir.

Tablo 2.3' te FAA' nın havaalanları sınıflandırma tablosu verilmiştir. Tablodaki değerlere göre Boeing 767–200 uçağı 130 kn yaklaşım hızı ve 47,6 m kanat açıklığına sahip olduğundan, uçağın kullanacağı hava alanı C–IV sınıfında olmalıdır. Airbus A 310-300'ün yaklaşım hızı 125 kn ve kanat açıklığı 43,9 m' dir. Buna göre bu uçak için hava alanı sınıfı C-IV' tür. Boeing B 737-400 uçağının yaklaşım hızı 139 kn, kanat açıklığı 28,9 m olduğundan hava alanı sınıfı C-III olarak tespit edilir. Concorde için bu değerler sırasıyla, 162 kn, 25,5 m 'dir Bu da D-III sınıfını gösterir. Küçük uçaklardan Cessna 150 de 55 kn. yaklaşım hızı, 10 m kanat açıklığı ile A-I sınıfı hava alanı gerektirir.

Uçak Yaklaşım Kategorisi	Uçak Yaklaşım Hızı (knot) (x1,8532 km/h)	Uçak Tasarım Grubu	Uçak Kanat Açıklığı (ft) (m)
Α	<91	Ι	<49 (15)
В	91<121	П	49 (15)<79 (24)
С	121<141	III	79 (24)<118 (36)
D	141<166	IV	118 (36)<171 (52)
Е	≥166	V	171 (52)<214 (65)
	·	VI	214 (65)<262 (80)

Tablo 2.3. FAA Hava alanı Sınıflandırması

2.2.2. ICAO sınıflandırması

ICAO havaalanlarının geometrik sınıflandırması için nümerik ve alfabetik olmak üzere iki kısımdan oluşan bir sınıflandırma sistemi kullanır. Nümerik kısım referans arazi uzunluğunu belirlemektedir. Referans arazi uzunluğu, deniz seviyesinde, standart atmosfer koşullarında, durgun bir havada ve düz pist için izin verilen maksimum kalkış ağırlığına göre bulunan minimum arazi uzunluğudur. Alfabetik kısım ise uçakların kanat açıklığını ve ana iniş takımları arasındaki mesafeyi (Ana iniş takımındaki tekerleklerin dış yüzleri arasındaki mesafeyi) temsil etmektedir. Bununla ilgili bilgiler Tablo 2.4' de verilmiştir. Buna göre Boeing 767-200 uçağı 47,6 m kanat açıklığı, 10,8 m iniş takımları arası mesafesi ve 1981 m referans arazi uzunluğuna sahip olduğundan, ICAO sınıflandırmasında göre 4-D tipi bir hava alanını kullanmalıdır. Airbus A 310-300 uçağının referans arazi uzunluğu 1845 m ve iniş takımları arası mesafesi 10,9 m olarak verildiğinden bu uçak için hava alanı sınıfı 4-D' dir. Boeing B 737-400 için aynı değerler sırasıyla 2499 m ve 6,4 m' dir. Buna göre hava alanı sınıfı 4-C olmaktadır. Concorde uçağında ise referans arazi uzunluğu ise 3400 m olup iniş takımları arası mesafe 8,8 m' dir. Bu da 4-C sınıfını işaret eder. Küçük uçaklardan Cessna 150'nin referans arazi uzunluğu 408 m olduğundan, bu uçağa hizmet verecek hava alanının sınıfı 1-A olmalıdır.

ICAO sınıflandırması, FAA sınıflandırmasından farklı olarak hava alanının fonksiyonunu, vereceği hizmeti ya da hizmet edeceği uçakların tipini doğrudan ortaya koymamaktadır. Buna karşın FAA ve ICAO sistemlerinde yaklaşık bir ilişki söz konusudur. Buna göre FAA' da kullanılan A, B, C, D ile I, II, III, IV ve V sınıfları sırasıyla ICAO' nun 1, 2, 3 ve 4 ile A, B, C, D, E sınıflarına karşılık gelmektedir.[1]

Hava alanı Nümerik Sınıfı	Referans Arazi Boyu (m)	Hava alanı Alfabetik Sınıfı	Kanat Açıklığı (m)	Ana İniş Takımında Lastikler Arası Mesafe (m)
1	<800	Α	<15	<4,5
2	800-<1200	В	15-<24	4,5-<6
3	1200-<1800	С	24-<36	6–<9
4	≥1800	D	36-<52	9–<14
		Е	52-<65	9–<14

Tablo 2.4. ICAO Hava alanı Sınıflandırması

2.3. Pistlerin Geometrik Özellikleri

Pistler, uçakların kalkış ve inişlerini gerçekleştirmek için tasarlanmış dikdörtgen şeklindeki kaplamalardır. Bir hava alanında verimlilik ve güvenlik unsurları dikkate alınarak düzenlenmiş bir ya da birden fazla pist bulunabilir. Pistlerin yerleşimine ve konfigürasyonuna etkiyen etkenler,

- i. Yerel iklim koşulları (Rüzgar ve görüş mesafesi),
- ii. Hava alanının bulunduğu arazinin ve çevresinin topografyası,
- iii. Trafik hacmi ve cinsi,
- iv. Uçakların performansı ve çevresel kriterler (Gürültü kontrolü gibi)

olarak sıralanabilir. Pistlerle bağlantılı hava alanı bölgeleri aşağıda sıralanmıştır:[1]

a. Uçak yüklerini taşıyan kaplama (Şekil 2.6.)

- b. Jet itişinden oluşan erozyonu önlemek ve bakım-kontrol malzemelerine yer temin etmek amacıyla kaplama yapısına komşu olarak inşaa edilen *banketler*. (Şekil 2.6.)
- c. Yangın, uçak düşmesi, kurtarma, kar temizleme vs. malzemelerini desteklemek ve uçağın pistten çıkması durumunda güvenlik sağlamak amacıyla inşaa edilen kaplama yapısı ve banketleri kapsayan *pist şeridi*.
- d. Pistin bitiş noktalarına komşu yüzeylerde jet itişinden oluşan erozyonu önlemek için oluşturulan kaplamalı veya çimlendirilmiş *tampon bölge*. (Şekil 2.6.)
- e. Uçağın normal inişinden önce piste inip tekrar havalanması ya da pisti pas geçmesi halinde oluşabilecek kazaları azaltmak için pist sonuna yapılan ilave *pist sonu güvenlik bölgesi.* (Şekil 2.6.)



Şekil 2.6. Havaalanlarında Pistlerle İlgili Bölgelerin Şematik Gösterimi

f. Kalkışın tamamlanamaması durumunda güvenliği sağlamak için pistin bitiş yerine eklenmiş kaplama yapısı. (Durma uzantısı, stopway)(Şekil 2.7)



Şekil 2.7. Havaalanlarında Pistlerle İlgili Bölgelerden Durma Uzantısının Şematik Gösterimi

g. Pistin sonunda uçağın tırmanma açısını küçülterek kalkış ağırlığının artmasını sağlamak amacı ile pist sonlarında oluşturulan engellerden arındırılmış kaplamasız bölge. (Aşma sahası, clearway) (Şekil 2.8)



Şekil 2.8. Havaalanlarında Pistlerle İlgili Bölgelerden Aşma Sahasının Şematik Gösterimi

Şekil 2.9' da İstanbul Atatürk hava alanının pist, dolanma yolları, apron ve diğer tesislerinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.9. İstanbul Atatürk hava alanında Pistlerin Ve Apronun Havadan Görünüşü [31]

Atatürk Hava alanında şu an kullanımda olan iki pist bulunmaktadır. Bunlardan ilki 06-24 pisti olarak adlandırılan; kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan, 2300x60 m boyutlarında ve 2420x150 m şeride sahip olan bir pisttir. 18-36 pisti olarak adlandırılan pist ise kuzey-güney yönünde uzanmaktadır. 3000x45 m ölçülerindeki 18-36 pistinin şeridi 3120x300 m' dir.[25] ICAO Sınıflandırmasına göre, havaalanlarında pistlerin genişliği Tablo 2.5' te, eğim değerleri Tablo 2.6' da, şerit genişliği Tablo 2.7' de ve şerit eğim değerleri Tablo 2.8 te verilmiştir.

Nümerik	Alfabetik Sınıf										
Sınıf	Α	В	С	D	E						
1	18	18	23	-	-						
2	23	23	30	-	-						
3	30	30	30	45	-						
4	-	_	45	45	45						
Pistin b	anket dahil gei	nişliği D ve E s	sınıflarında 60	m' den küçük	olamaz.						

Tablo 2.5. ICAO Sınıflandırmasına Göre Pistlerin Genişliği (m)

Tablo 2.6. ICAO Sınıflandırmasına Göre Pistlerin Eğimi (%)

Nümerik Sınıf	1	2	3	4			
Maksimum Boyuna Şev	1,5	1,5	1,25	1,25			
Maksimum Etkin Eğim	2	2	1	1			
Maksimum Boyuna Şev Değişimi	2	2	1,5	1,5			
Maksimum Enine Şev	n Enine Şev A ve B kodlarında %2, diğer kodlarda %1,5						

Tablo 2.7. ICAO Sınıflandırmasına göre Pist Şeridi Genişliği (m)

Nümerik Sınıf	1	2	3	4
Uçakların Aletle Yaklaştığı Pistlerde	150	150	300	300
Uçakların Görsel Yaklaştığı Pistlerde	60	80	150	150

Nümerik Sınıf	1	2	3	4
Maksimum Boyuna Şev	2	2	1,75	1,50
Maksimum Enine Şev	3	3	2,5	2,5

Tablo 2.8. ICAO Sınıflandırmasına Göre Pist Şeridi Eğimi (%)

FAA ise havaalanlarındaki pist sistemlerini; kaplama, banketler, tampon bölge, pist güvenlik alanı, engellerden arındırılmış bölgeler ve pist koruma alanı tanımlayarak oluşturmaktadır. Pist güvenlik bölgesi, ICAO' nun tanımladığı pist şeridi ve pist sonu güvenlik bölgesine eşdeğerdir. Tablo 2.9, Tablo 2.10 ve Tablo 2.11'de FAA' ya göre pistlerin geometrik standartları verilmiştir. A ve B sınıflarında uçakların piste yaklaşımı ve uçak tasarım grubu dikkate alınırken, C,D ve E sınıflarında ise sadece uçak tasarım grubu dikkate alınır. Uçakların piste yaklaşımı, sadece doğrusal yaklaşım sağlayan görsel ve görsel olmayan aletlerle kontrol edilebileceği gibi, hassas ölçüm yapabilen aletlerle de kontrol edilebilir.

Yaklaşım Tipi		Görsel				Aletle				
Uçak Tasarım Grubu	Ia	Ι	Π	Ш	IV	Ia	Ι	Π	ш	IV
Pistin Genişliği	60	60	75	100	150	75	100	100	100	150
Banket Genişliği	10	10	10	20	25	10	10	10	20	25
Pist Güvenlik Bölgesi Genişliği	120	120	150	300	500	300	300	300	400	500
Pist Güvenlik Bölgesi Uzunluğu	240	240	300	600	1000	600	600	600	800	1000

Tablo 2.9. FAA Sınıflandırmasına Göre A Ve B Yaklaşım Kategorileri İçin Pistin Geometrik Özellikleri (ft) (x0,3048 m)

Tabloda "I a" grubu küçük uçakları göstermektedir. Pist güvenlik bölgesi uzunluğu ise pistin bitiminden itibaren olan uzaktır.

Uçak Tasarım Grubu	Ι	II	III	IV	V	VI
Pistin Genişliği	100	100	100	150	150	200
Banket Genişliği	10	10	20	25	35	40
Pist Güvenlik Bölgesi Genişliği	500	500	500	500	500	500
Pist Güvenlik Bölgesi Uzunluğu	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Tablo 2.10. FAA Sınıflandırmasına Göre C, D Ve E Yaklaşım Kategorileri İçin Pistin Geometrik Özellikleri (ft) (x0,3048 m)

Tabloda, III numaralı uçak tasarım grubu için izin verilen maksimum kalkış ağırlığı 150000 lb.(68 ton)'dan ağır olan uçaklar için pist genişliği 150 ft (45 m), banket genişliği 25 ft (7,6 m)'dir.

Uçak Yaklaşım Kategorisi	Α	В	С	D	E
Boyuna Maksimum Eğim	2	2	1,5	1,5	1,5
Boyuna Maksimum Değişim	2	2	1,5	1,5	1,5
Enine Maksimum Eğim	2	2	1,5	1,5	1,5

Tablo 2.11. FAA Sınıflandırmasına Göre Pistin Eğim Değerleri (%)

Havaalanlarında pistlerin bir diğer geometrik boyutu uzunluğudur. Pist uzunluğunu belirleyen başlıca parametreler aşağıda sırlanmıştır:

- i. Sıcaklık: Sıcaklık arttıkça havanın yoğunluğu azalır, bu sebepten motorların itiş gücü azalır, böylece pist uzunluğu artar.
- ii. Pist Yüzeyi Rüzgarı: Rüzgarın esme yönü ve şiddetine göre pist uzunluğu artabilir ya da azalabilir.
- iii. Pist Eğimi: Yukarı doğru eğimler pist uzunluğunu arttırır.
- iv. Hava alanının Rakımı: Hava alanının rakımı arttıkça pist uzunluğu artar.
- v. Pist Yüzeyinin Durumu: Su, kar vs. ile kirlenmiş yüzeyler pist uzunluğunun artışına sebep olur.

Pist uzunluğunu belirlemek için öncelikle kritik uçağın boş ağırlığı bulunur. Uçağın boş ağırlığına ticari yük ve yedek yakıt miktarı eklenerek, gidilen hava alanındaki iniş ağırlığı bulunur. Buradaki iniş ağırlığının uçağın maksimum iniş ağırlığını geçmemesi gereklidir. Uçağın iniş ağırlığına iniş, kalkış ve seyahat için gerekli yakıt miktarı eklenerek uçağın kalkış ağırlığı tespit edilir. Uçağın kalkış ağırlığının da benzer şekilde maksimum kalkış ağırlığını geçmemesi gereklidir. Hava alanının sıcaklığı ve rakımı, pist yüzeyi rüzgarı ile pistin eğimi tespit edilir. Bu parametreler tespit edildikten sonra hava alanını kullanması tahmin edilen uçakların üretici firmaları tarafından verilen kullanma kılavuzları yardımı ile pist uzunluğu tespit edilir. Maksimum kalkış ağırlıkları 60000 lb (27,2 ton)' dan büyük olan uçaklar için uçuş mesafesine göre gereken pist uzunluğu, Şekil 2.10' da ön yaklaşım için verilmiştir.[7]

Pist uzunlukları hem kalkış için hem de iniş durumları için bulunmalıdır. Pist sonlarına aşma sahası ve/veya durma uzantısı ilave edilmesi durumunda bulunan pist uzunluklarının belirli bir oranda daha kısa olması yeterli görülmektedir.



Şekil 2.10. Seyahat Mesafesi – Pist Uzunluğu İlişkisi

Şekil 2.11.' de 1995 verilerine göre İstanbul Atatürk Hava alanını en çok kullanan uçaklardan biri olan B 737-200 uçağının kalkışta, kalkış ağırlığına ve hava alanı

rakımına bağlı olarak pist uzunluğunu gösteren grafik verilmiştir. Grafikte standart atmosferik koşullar, rüzgarsız bir ortam ve eğimsiz pist olduğu kabulleri yapılmıştır. Kullanılan B 737-200 uçağında JT8D-9/9A tipi motor bulunmaktadır. Şekil 2.12' de ise aynı uçak için inişte gerekli pist uzunluğunu veren grafik gösterilmiştir.[10] Her iki grafik de hava alanı rakımının yanı sıra kanatlardaki flap parçasının pozisyonunu da göz önüne almaktadır. Flap parçası (kanatçık) kanatlarda hareket ettirilebilen ve kanatların fonksiyonunu arttıran bir parçadır. Flaplar sayesinde iniş ve kalkış sırasındaki hızlar kontrol altında tutulmakta ve böylece pist uzunluğunun gerekenden çok büyük değerlere ulaşması önlenmektedir. Pist uzunluğunun tespitinde minimum uzunluk değerini veren flap pozisyonu göz önüne alınmalıdır.



Şekil 2.11. Kalkış Ağırlığı İle Pist Uzunluğu Arasındaki İlişki (Boeing 737-200)



Şekil 2.12. İniş Ağırlığı İle Pist Uzunluğu Arasındaki İlişki (Boeing 737-200)

Deniz seviyesinde, standart bir günde ve eğimsiz pistlerin uzunluğu; rakım, sıcaklık ve eğim durumuna göre düzeltilmelidir. Hava alanı rakımının her 1000 ft.(300 m) 'lik artışında pist uzunluğu %7 arttırılır. Hava alanı referans sıcaklığının ilgili rakımdaki standart sıcaklığa göre her 1[°] C artışı için pist uzunluğu %1 düzeltilir. %35'ten fazla bir düzeltme söz konusu olduğunda pist boyu özel yöntemlerle belirlenmelidir. Standart sıcaklık deniz seviyesinde 15[°] C olup her 1000 ft. yükselişte 1.981[°] C azaltılarak bulunur. Hava alanı referans sıcaklığı T₀,

$$T_0 = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{3}$$
(2.1)

bağıntısı yardımı ile bulunur. Burada T_1 yılın en sıcak ayının ortalama günlük sıcaklığı, T_2 ise aynı ayın maksimum günlük sıcaklıkların ortalamasıdır. Her iki

değer de belli bir periyot için bulunmaktadır. Pist eğiminin her %1 artışı için pist uzunluğunun %10 oranında düzeltilmesi istenmektedir.[8]

Örnek : Pist uzunluğunun düzeltilmesi [8]

• Giriş Bilgileri :

Standart atmosferik koşullarda, deniz seviyesinde iniş için pist uzunluğu : 2100 m Standart atmosferik koşullarda, deniz seviyesinde kalkış için pist uzunluğu : 1700 m Hava alanı rakımı : 150 m

Hava alanı referans sıcaklığı : 24^0 C

Hava alanının bulunduğu rakımda standart sıcaklık : 14,025 $^{\rm 0}\,{\rm C}$

Pist Eğimi : %0,5

• Pistin kalkış uzunluğunda yapılacak düzeltmeler:

Rakım Düzeltmesi : 1700x0,07x150/300+1700=1760 m

Rakım ve Sıcaklık Düzeltmesi : 1760x(24–14,025)x0,01+1760 =1936 m

Rakım, Sıcaklık ve Eğim Düzeltmesi: 1936x0,5x0,10+1936=2035 m

• Pistin iniş uzunluğunda yapılacak düzeltmeler:

Rakım Düzeltmesi : 2100x0,07x150/300+2100=2175 m

Buna göre 2035 m<2175 m olduğundan pist boyu olarak 2175 m kullanılmalıdır.
3. HAVA ALANLARINDA KAPLAMA KALINLIĞININ TAYİNİ

Uçakların bazı karakteristik özellikleri kaplamaların uçağı taşıyabilme kabiliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bir kaplamanın kalınlığı aşağıdaki etkenlere bağlıdır:

- Uçağın iniş takımı tipi ve geometrisi: Lastiklerin adedi ve yerleşimi, uçak ağırlığının ön ve ana iniş takımlarına dağılma yüzdesini ve kaplamanın uçak yüklerine karşı gösterdiği reaksiyonu belirler.
- ii. Trafik yükü: Kaplama tasarım yöntemleri uçakların brüt ağırlıklarını esas almaktadır. Kaplamalar, uçakların maksimum kalkış ağırlıklarına göre hesaplanmalıdır. Kaplama tasarımında uçağın brüt ağırlığının %95'inin ana iniş takımlarınca, %5'inin ise ön iniş takımlarınca taşındığı kabul edilir.
- iii. Lastik basınçları: Uçakların brüt ağırlığına ve iniş takımı özelliklerine bağlı olarak değişen lastik basınçları, kaplama tasarımında önemlidir.
- iv. Trafik hacmi: Kaplama üzerine gelecek trafik yüklerinin belirlenmesi tasarım için gereklidir. Bunun için de kaplamayı kullanması beklenen uçak tiplerinin ve yıllık kalkış sayılarının tahmini yapılır.

Bu etkenlere ek olarak, bir uçağın kullanacağı kaplama yapısının sınıfı da önem taşımaktadır. Pist, taksi yolu ve apron kaplamaları, esnek ve rijit olmak üzere iki temel kategoride incelenebilir. Bir esnek kaplama genel olarak bir ya da daha çok granüler zemin tabakaları ve bitümlü malzemelerden oluşturulmaktadır. Bitümlü bir yüzey kaplamasının altında sırası ile, temel tabakası ve alt temel tabakası (Gerekli durumlarda) bulunur. Tüm esnek kaplama yapısı en son olarak doğal zemin (Taban zemini) tarafından taşınmaktadır. Yüzey kaplaması; suyun alt tabakalara inmesini önlemek, trafik yükünden oluşan kesme kuvvetlerine karşı koymak ve trafik için düzgün bir yüzey oluşturmak amacı ile inşaa edilmektedir. Kaplama yapısının esas elemanı temel tabakasıdır. Bu tabaka lastik yüklerini alt katmanlara dağıtmalı, yüzey tabakasını deformasyona zorlayan düşey kuvvetlere ve nem değişiminden

kaynaklanan hacim değişimine karşı koyabilmelidir. Alt temel tabakası ise temel tabakası ile aynı görevlere sahip olmasına karşın, karşı koyacağı etkiler temel tabakasına göre daha küçüktür. Diğer yandan rijit kaplamalar, sıkıştırılmış doğal zemin üzerine granüler alt temel tabakası (Bazı hallerde) ve beton yüzey kaplaması inşaa edilerek yapılır. Beton yüzey; suyun alt tabakalara sızmasını önlemeli, gelen trafik yüklerini karşılamalı ve kayganlığı belli sınırlar içinde olmalıdır. Alt temel tabakası, beton tabaka için stabil destek sağlamalı ve drenajı temin etmelidir. Minimum alt temel tabakası kalınlığı yaklaşık 10 cm olarak tavsiye edilmektedir. Bazı durumlarda alt temel kalınlığı, yatak katsayısını arttırabilmek için minimum değerin üzerinde yapılıp, beton tabakanın kalınlığını azaltma yönüne gidilebilir.[1]

İstanbul Atatürk Hava alanında pist ve taksi yolları rijit kaplamadır. Pistler; taban zemininin üzerine sırası ile, alt temel tabakası olarak 215 cm dolgu betonu, 19 cm zayıf beton temel ve 40 cm beton yüzey kaplaması inşaa edilerek oluşturulmuştur. Taksi yollarında pistlerden farklı olarak zayıf beton temel 15 cm' dir. Kaplama betonunun 7 günlük eğilme mukavemeti 35 kg/cm² değerinden, 28 günlük eğilme mukavemeti ise 50 kg/cm² değerinden büyüktür. [25] Şekil 2.1'de tipik esnek ve rijit kaplama örneği verilmiştir.



Şekil 3.1. Tipik Esnek Ve Rijit Kaplama Kesitleri

Bir kaplama iki amaca hizmet etmelidir:

- i. Her türlü hava koşulunda düzgün, güvenli bir yüzey sağlamak,
- ii. Üzerine gelen yükü herhangi bir yapısal bozukluğa neden olmadan düzgün bir şekilde dağıtabilmek.

3.1. Tasarım Uçağının Belirlenmesi

Kaplama tasarımı için yapılan trafik hacmi tahminlerinde kaplamayı kullanması beklenen çeşitli uçaklar, bu uçakların iniş takımı tipleri ve pistten yıllık kalkış sayıları listelenmektedir. Bu listeden en kalın kaplama kesiti gerektiren uçak, tasarım uçağı olarak kabul edilir. Trafik hacmi tahmini listesinde bulunan en ağır uçak, tasarım uçağı olmayabilir.

Trafik hacmi listesinde iniş takımları ve ağırlıkları birbirlerinden farklı uçaklar bulunduğundan, listedeki tasarım uçağı dışında kalan uçaklar, tasarım uçağı cinsinden ifade edilmelidir. Bunun için yapılacak ilk iş, listedeki tüm uçakların iniş takımlarını tasarım uçağının iniş takımı tipine çevirmektir. Tablo 3.1'de iniş takımlarını birbirlerine dönüştürecek katsayılar verilmiştir. Katsayılar, dönüştürülen ve dönüştürülmüş iniş takımı tiplerinin kaplama üzerinde aynı yorgunluk etkisini göstermesini temin etmektedir. Bu katsayılar, esnek ve rijit kaplamalarının her ikisi için de kullanılabilir.

İniş Takımı Tipi	Dönüştürülmüş Hali	Kalkış Sayıları Çarpanı
Tek lastik	Çift lastik	0,8
Tek lastik	Tek lastik Çift tandem	
Çift lastik	Çift tandem	0,6
İkili çift tandem	Çift tandem	1,0
Çift tandem	Tek lastik	2,0
Çift tandem	Çift lastik	1,7
Çift lastik	Tek lastik	1,3
İkili çift tandem	Çift tandem	1,7

Tablo 3.1. İniş Takımı Dönüşüm Katsayıları

İniş takımları, tasarım uçağı iniş takımı tipine dönüştürüldükten sonra tasarım uçağının eşdeğer yıllık kalkış sayıları bulunabilir. Bunun için aşağıda verilen eşitlik kullanılmalıdır:

$$\log R_{1} = \log R_{2} x \left(\frac{W_{2}}{W_{1}}\right)^{0.5}$$
(3.1)

Eşitlikte R₁, tasarım uçağı eşdeğer yıllık kalkış sayısı; R₂, tasarım uçağı iniş takımı cinsinden yıllık kalkış sayısı; W₁, tasarım uçağı lastik yükü; W₂ ise hesaplanan uçağın lastik yüküdür. Bu hesaplamalarda uçak brüt ağırlığının %95'inin ana iniş takımlarınca taşındığı kabul edilmektedir. Ancak geniş gövdeli uçakların iniş takımları büyük farklılıklar gösterdiğinden, bu uçaklara ayrı bir yaklaşım gösterilir. Buna göre geniş gövdeli uçakların lastik yüklerinin 300000 lb. olduğu ve çift tandem iniş takımına sahip oldukları kabulü ile eşdeğer yıllık kalkış sayıları bulunur.

Örnek : Kaplama kalınlığı tespitinde kullanılacak değerlerin tespiti

Yapılması planlanan bir kaplama için yapılan trafik tahminleri aşağıda verilmiştir:

Uçak İniş Takımı Yıllık Kalkış Sayıları	İnis Takımı	Yıllık Kalkış	Maksimum Kalkış Ağırlıkları		
	Sayıları	lbs	Kg		
727–100	Çift Lastik	3760	160000	72600	
727-200	Çift Lastik	9080	190500	86500	
707-320 B	Çift Tandem	3050	327000	148500	
DC-G-30	Çift Lastik	5800	108000	49000	
CV-880	Çift Tandem	400	184500	83948	
737-200	Çift Lastik	2650	115500	52440	
L 101-100	Çift Tandem	1710	450000	204120	
747–100	İkili Çift Tandem	85	700000	317800	

Tablo 3.2. Örnek Trafik Tahmini

Buna göre yapılacak işlemler sırası ile verilmiştir:

- Tasarım uçağının belirlenmesi: Çeşitli uçaklar için hazırlanmış tasarım eğrileri yardımı ile trafik tahmininde verilen uçakların her biri için kaplama kalınlığı tespit edilir. Örnekte B 727-200 uçağı en kalın kaplama kesitini gerektirdiği için tasarım uçağı olarak seçilir.
- Trafik tahminindeki diğer uçakların iniş takımlarının dönüştürülmesi: Trafik tahmini listesinde verilen B 747-200 uçağı dışındaki uçakların iniş takımları B 747-200'ün iniş takımı "Çift Lastik" şekline dönüştürülür. Bu dönüşümden sonra her bir uçağı eşdeğer yıllık kalkış sayıları bulunmalıdır.

Uçak	Eşdeğer Ayrılma Uçak Sayısı		Lastik Yükü		n Uçağı Yükü	Tasarım Uçağı Eşdeğer Yıllık
	(Çift Lastik)	lb	kg	lb	Kg	Kalkış Sayısı
727 –100	3760	38000	17240	45240	20520	1891
727 –200	9080	45240	20520	45240	20520	9080
707-320B	5185	38830	17610	45240	20520	2764
DC-G-30	5800	25650	11630	45240	20520	682
CV-880	680	21910	9940	45240	20520	94
737-200	2650	27430	12440	45240	20520	463
747	145	35625*	16160	45240	20520	83
L101-100	2907	35625*	16160	45240	20520	1184
*Lastik yükleri geniş gövdeli uçaklar için 300000 lb (136100 kg) alınmıştır.			r	Foplam:	16241	

Tablo 3.3 Tasarım Uçağı İle İlgili Dönüşümler

Sonuç olarak tahmin edilen bu trafiğe göre kaplama, çift lastikli iniş takımına sahip 190500 lb (86500 kg) ağırlığında bir tasarım uçağının, yıllık 16000 kalkış sayısına göre tasarlanmalıdır. Tasarım esnasında drenaj, yüzey kaplaması vs. gibi konularda pisti kullanması beklenen en ağır uçak olan B 747-100 de göz önünde bulundurulmalıdır.

Tasarım uçağının özellikleri belirlendikten sonra kaplama kalınlığı hesaplarına geçilebilir. Kaplama kalınlığının tespiti esnek kaplamalarda CBR yöntemi ile, rijit kaplamalarda ise Westergaard Gerilme Analizi ile yapılmaktadır.

3.2. Esnek Kaplamaların Boyutlandırılması

Esnek kaplamalarda doğal zeminin taşıma gücü CBR değeri ile belirlenir. CBR değeri esas olarak verilen bir zeminin taşıma gücünün çakıl boyutunda kırılmış kireçtaşının taşıma gücüne oranını ifade eder. Örneğin CBR değerinin 10 olması, ilgili zeminin taşıma gücünün kırılmış kireçtaşının taşıma gücünün %10'u olduğunu göstermektedir. Yöntem ilk olarak 1928'de Amerikan Karayolları (California) tarafından geliştirilmiş, daha sonra 2. Dünya Savaşı'nda duyulan ihtiyaç üzerine hava alanı kaplamalarına uyarlanmıştır. Basit ve sonuçlarının tatminkar olması üzerine de yöntem tamamen benimsenmiştir. Buna göre yükün tek lastik üzerinden geldiği, lastiğin temas yüzeyinin dairesel olduğu kabulleri yapılarak, verilen yük ve zemin dayanımına göre kaplama kalınlığı tespit edilmekteydi. Daha sonra yöntem çift lastik ve çift tandem lastik düzenleri için yeniden geliştirildi. Ancak yapılan araştırmalarda, tek lastikten gelen yükün, diğer lastik düzenlerine göre daha elverişsiz sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur. Şekil 3.2'de tek lastik ve çift lastik yükünün aynı derinlik için kaplamada oluşturdukları deformasyon değerleri kıyaslanmaktadır. Grafikte yatay eksende lastik temas yüzeyi merkezinden olan uzaklıklar verilmistir.[1]

Yapılan araştırmaların sonuçlarına bağlı olarak, eşdeğer tek lastik yükü (ETLY) kavramı ortaya konulmuştur. ETLY, çoklu lastik düzeninin pisti oluşturan tabakalarda yarattığı gerilmenin aynısını ortaya çıkaran, çoklu lastik düzeniyle aynı lastik basıncına sahip olan tek lastik üzerindeki fiktif bir yüktür. Başka bir deyişle, gelen yükün birden fazla temas alanı vasıtası ile kaplamaya iletilmesi yerine, ETLY'

nin bir tek temas alanı ile aktarılması daha elverişsiz sonuçlar ortaya çıkartmaktadır. Kaplamada oluşabilecek maksimum gerilmelerin yeri Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Buna göre; bir lastiğin merkezi ile diğer noktalar arasındaki mesafe ve ETLY' nin hesaplanacağı noktanın derinliği, lastik temas alanı yarıçapı cinsinden verilmektedir. ETLY' nin hesaplanacağı noktanın derinliği, analizlerde kaplamanın kalınlığı olarak düşünülmektedir.[12]



Şekil 3.2. Tek Lastik Ve Çift Lastik Yükünün Kaplamada Oluşturduğu Deformasyonun Karşılaştırılması



Şekil 3.3. Lastik Temas Yüzeyleri Ve Analiz Noktaları

Lastik temas alanı yarıçapı (r),

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$
(3.2)

bağıntısı ile verilir. Bağıntıda A, lastik temas yüzeyi alanı olup,

$$A = \frac{F}{P}$$
(3.3)

ile hesaplanır. Burada F düşey yük, P ise lastik basıncıdır. Analiz yapılan noktaya olan mesafeye ve istenilen derinliğe göre Şekil 3.4.'ten eğilme katsayıları (f) bulunur. Buradan da süper pozisyon yapılarak çoklu lastik düzeni eğilme katsayısı bulunabilir. Çoklu lastik düzeni eğilme katsayısı, çoklu düzendeki her bir lastiğin analiz yapılan noktaya olan uzaklıklarına göre bulunan eğilme faktörlerinin toplamıdır.

Tek lastikteki yükün şiddetinin, çoklu sistemdeki tek bir lastiğin yük şiddetine oranı; belli bir derinlik için bulunan maksimum eğilme katsayılarının oranı ile ters orantılıdır:

$$\frac{F_{\rm s}}{F_{\rm m}} = \frac{f_{\rm m}}{f_{\rm s}} \tag{3.4}$$

Bağıntıda s, tekli lastik sistemini; m ise çoklu lastik sistemini ifade etmektedir. Yük şiddeti oranı belirlendikten sonra, ETLY aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$ETLY = \frac{F_s xF}{F_m x N_w}$$
(3.5)

Eşitlikte N_w, her bir iniş takımındaki lastik adedidir. Kaplama kalınlığı (t), uçakların yıllık kullanım sayısını da göz önüne alarak belli bir CBR değeri için,

$$t = \alpha_i \sqrt{\frac{\text{ETLY}}{8,1\text{xCBR}} - \frac{\text{A}}{\pi}}$$
(3.6)

bağıntısı yardımı ile hesaplanabilir. Bağıntıda α_i , yük tekrarlanma katsayısı olup, Şekil 3.5' teki grafikten bulunabilir. Buna göre hesaplarda, ETLY tespitinde kullanılan lastik sayısı ve istenilen yıllık uçak operasyon sayısı için bulunan değerler kullanılır.



Şekil 3.4. Çeşitli Derinlikler İçin Deformasyon Katsayıları



Şekil 3.5. Yük Tekrar Katsayıları

Örnek : ETLY hesabı [1]

Aşağıda geometrik boyutları verilen çift tandem lastik sistemine gelen toplam yükün 130000 lb (59 ton) ve toplam temas alanının 928 in² (5987,1 cm²)olmasına göre temas alanı yarıçapının üç katı derinlikte (3r) ETLY hesabı:



Şekil 3.6. Örnek Çift Tandem Düzen

Bir lastiğin temas yüzeyi alanı, A=928/4=232 inç² (1496,8 cm²)

Temas alanı yarıçapı, r= $(232/\pi)^{0.5}$ = 8,6 inç (21,8 cm)

ETLY hesaplanan derinlik, 3r=25,8 inc (65,5 cm)

Buna göre çift tandem lastik düzeni için 25,8 inç (65,5 cm) derinlikte deformasyon katsayıları Şekil 3.4'teki grafik yardımı ile bulunarak Tablo 3.4' te verilmiştir.

Tablo 3.4. Çift Tandem Lastik Düzeni İçin Eğilme Katsayıları

Derinlik	A Noktası	B Noktası	C Noktası	D Noktası
3r	0,21	0,34	0,25	0,47
3r	0,21	0,34	0,25	0,20
3r	0,21	0,10	0,16	0,12
3r	0,21	0,10	0,16	0,10
Toplam	0,84	0,88	0,82	0,89

Tablo 3.4. incelenecek olursa maksimum eğilmenin "D" noktasında oluştuğu görülebilir. Tablo 3.5' de çeşitli durumlar için deformasyon katsayıları verilmiştir.

			YÜK ORAN	11
Derinlik	Tek Lastik	Çift Lastik	Tek Lastiğin Sistemdeki Tek Lastiğe Oranı	Tüm Düzen
25,8 inç	0,47	0,89	1,9	0,475

Tablo 3.5. Çeşitli Deformasyon Katsayıları

Tablo 3.5' te bulunan değerlere göre 25,8 inç (65,5 cm) derinlikteki ETLY iki şekilde hesaplanır:

a. Sisteme gelen toplam yükü tüm sistemin katsayısı ile çarparak,

ETLY = 0,475x130 000 = 61 750 lb (28 ton)

b. Sistemdeki tek lastiğe gelen yükü sistemdeki tek lastik katsayısı ile çarparak,

ETLY = 1,90x32 500 = 61 750 lb (28 ton)

CBR yöntemi ile tasarım eğrileri üretmek için öncelikle belirli bir t derinliği için yukarıda örneklendiği şekilde ETLY tespit edilir. Tasarım periyodu (İstenen uçak operasyon sayısı) için α_i katsayısı seçilir. Eşitlik 3.6' ya göre zeminin CBR değeri için kaplama kalınlığı bulunur. Çeşitli derinlikler için yapılan bu işlemler tekrarlanarak tasarım eğrileri üretilir. Doğal zeminin CBR değeri oldukça değişken değerler alabildiğinden, tasarım için CBR değeri seçimi önemli bir karardır. Genel olarak tasarım için kullanılacak CBR değeri doğal zeminin CBR değerinin %85'ine küçük veya eşit olmalıdır. CBR değeri 15 ve üstü değerlere çıktığında Eşitlik 3.6 iyi sonuçlar vermemekte ve durabilite gibi diğer bazı faktörler etkin olmaya başlamaktadır. Şekil 3.7.'de FAA yaklaşımına göre esnek kaplamalarda tek lastik yükü için üretilen tasarım eğrisi verilmiştir. EK-A' da esnek kaplamalar için üretilen tasarım eğrilerin devamı bulunmaktadır.[13]





Şekil 3.7. Esnek Kaplamalarda Tek Lastik Durumu İçin Tasarım Eğrisi

Esnek kaplamalar için verilen tasarım eğrilerinin kullanılmasında; doğal zeminin ve alt temel tabakasının CBR değerleri, tasarım uçağı brüt ağırlığı ve yıllık kalkış sayısı gereklidir. Verilen tasarım eğrileri, gereken toplam kaplama kalınlığını ve sıcak karışım asfalt yüzey kaplaması kalınlığını göstermektedir. Tablo 3.6' da çeşitli tasarım yükleri için temel tabakası minimum kalınlıkları verilmiştir. Yıllık kalkış sayısının 25000'i geçtiği yoğun trafik hallerinde toplam kaplama kalınlığı Tablo 3.7' ye göre düzeltilmelidir. Buna göre bulunan artış miktarının 1 inç' lik (25 mm) kısmı yüzey kaplamasına verilmeli, kalan kısmı ise temel ve alt temel tabakasına dağıtılmalıdır.

	Tasaru	m yükü	Minimum Kalınlık		
Tasarım Uçağı	lb	lb kg		mm	
	30000-50000	13600-22700	4	100	
Tek Lastik	50000-75000	22700-34000	6	150	
	50000-100000	22700-45000	6	150	
Çift Lastik	100000-200000	45000-90700	8	200	
	100000-250000	45000-113400	6	150	
Çift Tandem	250000-400000	113400-181000	8	200	
B 757 – B 767	200000-400000	90700-181000	6	150	
DC - 10	400000-600000	181000-272000	8	200	
В 747	400000-600000	181000-272000	6	150	
	600000-850000	272000-385700	8	200	

Tablo 3.6. Temel Tabakası Minimum Kalınlık Değerleri

Hava alanındaki her bir nokta aynı yoğunlukta trafiğe sahip olmadığından FAA, kaplama kalınlığında değişiklikler öngörmektedir. Giden uçakların kullanacağı apronlar, taksi yolları ve pistin merkez çizgileri gibi kritik bölgelerde toplam kaplama kalınlığı T ise, kritik olmayan bölgelerde yüzey kaplama kalınlığını değiştirmeksizin temel ve alt temelin toplam kalınlığı 0.9 T' ye; trafiğin bulunması

ihtimali az olan yerler (Pist ve taksi yollarının kenarları gibi) 0,7 T' ye düşülebilir. Değişken kesit uygulanması halinde bu indirimler sadece temel tabakasına uygulanır.

Yıllık Kalkış Sayısı	Kalkış sayısı 25000 için bulunan kaplama kalınlığına göre yüzdesi
50000	104
100000	108
150000	110
200000	112

Tablo 3.7. Yoğun Trafik İçin Kaplama Kalınlığının Tespiti

Örnek: Esnek kaplama kalınlığının tespiti

Çift lastik düzenindeki 75000 lb (34000 kg) brüt kalkış ağırlığındaki bir tasarım uçağı için yıllık kalkış sayısının 6000 olduğu pistin kalınlığının ,alt temel tabakası CBR = 20, doğal zemin CBR=6 iken tespit edilmesi

- a. Toplam kaplama kalınlığının tespiti: Şekil A.1' den verilen değerlere göre toplam kalınlık 23 inç=584 mm olarak okunur.
- b. Alt temel kalınlığının tespiti: Aynı eğri CBR=20 değeri için kullanılarak temel tabakası ve yüzey kaplamasının toplam kalınlığı 9,5 inç (241 mm) bulunur. Buradan alt temel kalınlığı 23 inç–9,5 inç=13,5 inç (343 mm) olarak tespit edilir.
- c. Yüzey kaplaması kalınlığı tespiti: Kritik bölgeler için 4 inç (100 mm), kritik olmayan bölgelerde 3 inç (75 mm) olarak verilmektedir.
- d. Temel tabakası kalınlığı tespiti: Temel tabakası ve yüzey kaplamasının toplam kalınlığı 9,5 inç. olduğuna göre temel tabakası kalınlığı 9,5 inç–4,0 inç.=5,5 inç (137,5 mm) bulunur. Minimum temel tabakası kalınlığı 6 inç (150 mm) olduğundan temel tabakası 6 inç (150 mm) olarak tespit edilir.

Özet olarak kritik bölgelerde yüzey kaplaması, temel tabakası ve alt temel tabakası kalınlıkları sırası ile, 4 inç (100 mm), 6 inç (200 mm), 14 inç (355 mm) olurken;

kritik olmayan bölgelerde bu değerler sırası ile, 3 inç (75 mm), 5 inç (125 mm), 13 inç (330 mm) olmaktadır.

3.3. Rijit Kaplamaların Boyutlandırılması

Rijit kaplamalar, sıkıştırılmış doğal zeminin üzerine sırası ile, granüler alt temel tabakası ve beton tabakanın inşaa edilmesiyle oluşturulurlar. Bazı hallerde rijit kaplamalar alt temel tabakası inşaa edilmeden de oluşturulabilirler. Bu haller Tablo 3.8' de verilmiştir.

Zemin Sınıfı	Drenaj șa	artları iyi	Drenaj şartları kötü		
(Birleşik Zemin Sınıflandırması)	Don etkisi yok	Don etkisi var	Don etkisi yok	Don etkisi var	
GW	Х	Х	Х	Х	
GP	Х	Х	Х		
GM	Х				
GC	Х		"X" : Gerektirmeyen halleri göstermektedir.		
SW	Х				

Tablo 3.8. Alt Temel İnşaasını Gerektirmeyen Durumlar

Rijit kaplama tasarımı, yıllar boyunca kaplama davranışlarının araştırılması ve gözlemlenmesi sonucu ulaşılan bilgilere dayanmaktadır. Buna göre bir beton kaplamada aşağıdaki olayların sonucu gerilme oluşmaktadır:[1]

- a. Lastik yükleri,
- Beton tabakanın altında ve üstündeki sıcaklık ve nem farkından dolayı oluşan şekil değiştirme,
- c. Beton tabakanın genleşmesi ve büzülmesiyle beton tabaka ile temel tabakası arasında oluşan sürtünme.

Rijit kaplama tasarımında kaplamaya gelecek yüke bağlı olarak, kaplama içinde oluşan kritik gerilmenin tespiti gereklidir. Bunun için en yaygın olarak Westergaard analizi kullanılmaktadır. Bu yöntemle kaplama için gerilme ve sehim tespiti yapılabilmektedir.Rijit kaplama tasarımında kullanılan Westergaard gerilme analizi yönteminde yapılan temel kabuller aşağıda verilmiştir:

- a. Beton tabaka homojen ve izotropiktir.
- b. Doğal zemin, beton tabakanın eğilmesi ile orantılı olarak düşeyde reaksiyon gösterir.
- c. Gelen lastik yükleri eliptik bir temas alanı ile aktarılır.

Westergaard analizinde kurulan temel ilişki,

$$\mathbf{P} = \mathbf{k} * \mathbf{z} \tag{3.7}$$

olarak verilebilir. Burada P, reaksiyonu; z, sehimi ve k, doğal zemin yatak katsayısını ifade etmektedir. Beton tabakanın rijitliğinin doğal zeminin rijitliğine bağlı olarak ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$I = \sqrt[4]{\frac{E * d^3}{12 * (1 - \mu^2) * k}}$$
(3.8)

Bağıntıda E, betonun elastisite modülü; d, beton tabakanın kalınlığı; μ , betonun poison oranıdır.

Westergaard yönteminde kritik gerilme analizi iç bölgelerde ve kenarda olmak üzere iki yerde yapılmaktadır. İç bölgelerin bir düğüm noktası ya da kenara yeterince uzakta olduğu düşünülür. Beton tabakanın altındaki maksimum çekme gerilmesi,

$$\sigma_{int} = \frac{F_s}{d^2} * [0,275*(1+\mu)*\log_{10}\frac{E*d^3}{k*[(a+b)/2]^4} + 0,293*(1-\mu)*\frac{a-b}{a+b}]$$
(3.9)

bağıntısı ile bulunur. Burada F_s tek lastik yükü, d kaplama kalınlığı, a-b eliptik temas alanının yarı akslarıdır.

Kenar noktalarda yük transferi yapılamamaktadır. Yükün kenarlara yüklenmesi halinde maksimum çekme gerilmesi,

$$\sigma_{\text{ext}} = \frac{2,2(1+\mu)F_{\text{s}}}{(3+\mu)d^{2}}\log_{10}\frac{\text{Ed}^{3}}{100k[(a+b)/2]^{4}} + \frac{3(1+\mu)F}{\pi(3+\mu)d^{2}}[1,84 - \frac{4}{3}\mu + (1+\mu)\frac{a-b}{a+b} + 2(1-\mu)\frac{ab}{(a+b)^{2}} + 1,18(1+2\mu)\frac{b}{I}]$$
(3.10)

bağıntısı ile bulunur.Her iki yükleme hali için izin verilebilen gerilme de betonun göçme modülünün güvenlik katsayısına bölünmesiyle elde edilir.PCA (Portland Cement Association) tarafından önerilen güvenlik katsayıları Tablo 3.9' da verilmiştir.

Tablo 3.9. İzin Verilen Gerilmenin Tespiti İçin Kullanılacak Güvenlik Katsayıları

Uygulama	Güvenlik Katsayısı
Apronlar, taksiyolları, pist sonları	1,7-2,0
Pistlerin orta bölümleri	1,4-1,7

Yapılan araştırmalara göre betonda tekrarlanan yüklerden dolayı oluşan gerilme, nihai eğilme dayanımının yaklaşık yarısı kadar olursa üzerinde sınırsız sayıda tekrarlı yük taşınabilmektedir. Gerilme; nihai eğilme dayanımına yaklaştırıldıkça betonun, göçmeden taşıyabileceği tekrarlı yük sayısı azalır. Apronlarda, taksi yollarında ve pist sonlarında, trafik, pist ortasına göre daha yoğun olduğundan bu kesimlerde pistin orta bölümlerine göre daha büyük güvenlik katsayıları kullanılır. Beton için göçme modulü bu hesaplarda 90 günlük eğilme dayanımı ya da 28 günlük eğilme dayanımının 1,1 ila 1,14 katı olarak alınır.

Kenar yükleme hali, iç bölge yüklemesine göre daha elverişsiz sonuçlar vermektedir. Ancak kenar yükleme hali gerçekte trafik pist ve taksiyollarının merkez çizgileri boyunca yoğunlaştığından, çok sık rastlanabilecek bir durum değildir. Westergaard yöntemi baz alınan tasarım eğrilerinin bir kısmı, örneğin PCA tarafından üretilenler, iç bölge yüklemesini; bir kısmı ise, FAA tarafından üretilenler gibi, kenar yükleme halini göz önüne almaktadır.[1] FAA tarafından kenar yükleme hali esas alınarak hazırlanmış tasarım eğrilerinin kullanılmasında gerekli parametreler; betonun eğilme dayanımı, doğal zemin yatak katsayısı: "k", tasarım uçağı brüt ağırlığı ve tasarım uçağının yıllık kalkış sayısı olarak sıralanabilir. "k" değeri rijit kaplamayı taşıyan malzemenin yay katsayısı olup, malzemenin taşıma gücünü ifade etmektedir. Zemin yatak katsayısı k, arazide plaka vükleme denevi ile tespit edilir. Denev vapılamadığı hallerde k gerilmevi cok fazla etkilemediği için, kesin hesap gerekmediği durumlarda temel malzemesinin CBR değerine göre bir değer alınabilir. Temel malzemesinin zayıf olması durumunda "k" değeri 150'den küçük, orta ila iyi olması durumunda 200-250, çok iyi olması durumunda 300'den büyük olması beklenir. FAA' ye göre tek lastik için rijit kaplama tasarım eğrileri Şekil 3.8' de verilmiştir.EK-B' de rijit kaplamalar için üretilen tasarım eğrilerin devamı bulunmaktadır.[13] Eğriler sadece beton tabakanın kalınlığını vermektedir. Eğrilerde ilk olarak yapılması gereken soldaki ordinattan beton eğilme dayanımından hareket etmektir. Buradan çizilen yatay çizgi ile uygun "k" değeri yakalanır, buradan da düşey bir yol izlenerek uçak brüt ağırlığına ulaşılır. Bu noktadan yatay hareketle yıllık kalkış sayısı tespit edilir. Bu noktanın gösterdiği kalınlık değeri T, beton kaplama kalınlığı olarak alınır.



Şekil 3.8. Rijit Kaplamalarda Tek Lastik Yükü İçin Verilen Tasarım Eğrisi

3.4. ACN-PCN Sistemi

ACN-PCN sistemi FAA ve ICAO tarafından havaalanlarında kaplamanın herhangi bir uçağı taşıyabilme kapasitesini ortaya koymak için geliştirilmiş bir sistemdir. ACN, uçak sınıflandırma numarası, PCN ise kaplama sınıflandırma numarası anlamına gelmektedir. ACN, bir uçağın belli bir zemin mukavemetine sahip taban zemini üzerine inşaa edilmiş bir kaplamaya, tek lastik yükü cinsinden yapabileceği rölatif etkiyi gösteren değerdir. PCN ise, bir kaplamanın tek lastik yükü cinsinden rölatif yük taşıma kapasitesini göstermektedir. Bir uçağın ACN değerinin, hava alanının PCN değerine küçük veya eşit olması, o uçağın ilgili hava alanını herhangi bir lastik basıncı limiti olmaksızın kullanabileceğini göstermektedir. Aynı uçak için farklı ACN değerleri bulunabilir. Bunun sebebi, uçağın kullanacağı kaplamanın tipi (Esnek ya da rijit) ve taban zemini rölatif dayanımının değişken olmasıdır. Örneğin, bir Boeing 737-400 uçağının kalkış ağırlığı 65 ton ve lastik basıncı 210 psi iken ACN değeri rijit kaplama için 41, esnek kaplamada 35 olmaktadır.

ACN-PCN sisteminde bir kaplamanın tasıma gücü; PCN değeri, kaplama tipi, taban zemininin mukavemet sınıfı, maksimum lastik basıncı ve değerlendirme yöntemi cinsinden ifade edilmektedir. Bu amaçla esnek kaplamalar "F", rijit kaplamalar ise "R" harfi ile gösterilmektedir. Taban zemini dayanımı ise A, B, C ve D harfleri ile sınıflandırılmakta olup; A yüksek dayanımı, B orta dayanımı, C düşük dayanımı ve son olarak D çok düşük dayanımı temsil etmektedir. Bu sınıflandırmayı yapabilmek için esnek kaplamalarda CBR değeri, rijit kaplamalarda ise yatak katsayısı k kullanılmaktadır. A tipi zeminde k değeri; 120 mN/m³' ten, CBR değeri ise 13' ten büyüktür. B tipi zeminde k; 60 ila 120 mN/m³ arasında, CBR ise 8 ila 13 arasında değişmektedir. Düşük dayanımlı zeminlerden C tipi zeminde k; 25 ila 60 mN/m³ arasında, CBR ise 4 ila 8 arasında değerler almaktadır. En zayıf zemin olan D grubunda ise k; 25 mN/m³, den küçük, CBR ise 4 değerinin altındadır. İzin verilebilen maksimum lastik basıncının ifadesinde W, herhangi bir sınır bulunmadığını; X, sınırın 1,5 MPa olduğunu; Y, sınırın 1,00 MPa olduğunu ve Z ise sınırın 0,5 MPa olduğunu gösterir. Yapılan bu değerlendirmeler teknik yöntemler kullanılarak yapılmışsa T, gözlem ve tecrübeyle yapılmışsa U harfi rapora eklenmektedir. Örneğin PCN 46/R/A/X/T şeklindeki bir ifade; bu kaplamanın ACN değeri 46 ve daha küçük olan uçaklar tarafından kullanılabileceği, kaplamanın rijit olduğu, taban zemini dayanımının yüksek olduğu, izin verilebilen lastik basıncının 1,50 MPa olduğu ve bu değerlendirmelerin teknik yöntemlerle ortaya konulduğu anlamına gelmektedir.[1]

4. GEOSENTETİKLER

Geosentetik kelimesi "Geo" ve "Sentetik" kelimeleri birleştirilerek oluşturulmuştur. Geo, yapılan işin toprakla ilgili olmasından, sentetik ise kullanılan malzemenin insan yapımı olmasından ileri gelmektedir. Geosentetikler ASTM tarafından; inşaatlarda zemin, kaya ve benzeri malzemeler ile birlikte kullanılan polimer esaslı düzlemsel ürünler olarak tanımlanmaktadır. Sentetik malzemelerin tercih edilmesinin başlıca sebepleri; [3,27]

- i. Sentetik malzemelerin günümüzde çok ucuzlamış olması,
- ii. Sentetiklere istenilen her türlü özelliğin verilebilmesi,
- iii. Sentetiğin çevre koşullarına dayanıklı olması,
- iv. Sentetik esaslı malzemelerin çabuk uygulanabilmeleri,
- v. Sentetiklerin fabrika ortamında üretilmesi ve böylece kalite ve mukavemet özelliklerinin kontrol altında olması,
- vi. Geleneksel malzemelere göre tasarım kolaylıkları sağlamaları,
- vii. Doğal kaynakların tüketimini azaltmaları ve bu sayede çevreye verilen zararı azaltmalarıdır.

Geosentetikler polimer esaslı malzemelerdir. Polimerler, bir temel yapı taşının kendini bir zincir içinde tekrarlamasıdır. Bu yapı taşına monomer adı verilmektedir. Polimerizasyon işlemi ile monomer polimere dönüştürülür. Bir polimerdeki tekrarlanan monomer sayısı polimerizasyon derecesini gösterir. Polimerin moleküler ağırlığı da monomerin moleküler ağırlığının polimerizasyon derecesi ile çarpımına eşittir. Polimerin moleküler ağırlığı polimerin davranışında önemli bir rol oynar. Moleküler ağırlıktaki artış; mukavemet artışına, uzayabilme kabiliyetinin artışına, darbe mukavemetinin artışına, gerilme çatlağı dayanımının artışına, ısı dayanımının artışına ve işlenebilme özelliğinin kötüleşmesine sebep olur. Moleküler ağırlık dağılımının artışına ve işlenebilme özelliğinin kötüleşmesine sebep olmaktadır. Geosentetiklerde kullanılan başlıca polimerler, poliyamid (PA), poliester (PET), polietilen (PE),

polivinilklorid (PVC) ve polipropilenlerdir (PP). Polietilenler, yüksek yoğunluklu (HDPE) ve düşük yoğunluklu (LDPE) olmak üzere iki grupta incelenebilirler. Bunların yoğunlukları arasındaki fark fazla olmamasına karşın davranışlarında önemli farklılıklar gözlenir. Düşük yoğunluklu olan daha esnek ve kimyasal maddelere karşı daha zayıftır. Bu farklılığın sebebi, iki malzemenin kristalizasyon derecesinden kaynaklanmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilen, daha yüksek kristallenme oranına sahiptir. Kristallenme, polimer zincirlerinin küçük bölgelerde aynı doğrultuda yönlenmesi olarak açıklanabilir. Kristallenme oranının artması; rijitliğin artışına, yüksek ısı dayanımının artışına, çekme mukavemetinin artışına, elastisite modülünün artışına, kimyasal maddelere olan dayanımın artışına, permeabilitenin azalmasına, esnekliğin azalmasına, darbe dayanımının azalmasına, gerilme çatlağı dayanımının azalmasına ve kopma gerilmesine daha düşük deformasyon değerlerinde ulaşılmasına sebep olur. Polipropilen ise asit ve alkalilere, betona, bakterilere, UV ışınlarına dayanımlarının yüksek oluşu ve su emme özelliklerinin olmamasından dolayı geotekstil üretiminde en çok kullanılan polimerdir. Tablo 4.1' de geosentetik malzeme yapımında yaygın olarak kullanılan polimerlerin bazı karakteristik özellikleri verilmiştir. Tablo 4.1' de verilen polimerlerden polietilen; geotekstil, geomembran, geogrid, geonet ve geokompozit üretiminde, polipropilen; geotekstil, geomembran, geogrid ve geokompozit üretiminde; polivinilklorid; geomembran ve geokompozit üretiminde; poliyamid; geotekstil, geokompozit ve geogrid üretiminde; poliester ise geotekstil ve geogrid üretiminde kullanılmaktadır.

Polimer	Birim Hacim Kütlesi (kg/m ³)	20° C' deki Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Kopmada Deformasyon Yüzdesi
РЕТ	1380	800-1200	12000-18000	8-15
РР	900	400-600	2000-5000	10-40
LDPE	920	80-250	200-1200	20-80
HDPE	950	350-600	600-6000	10-45
РА	1140	700-900	3000-4000	15-30
PVC	1250	20-50	10-100	50-150

Tablo 4.1. Polimerlerin Bazı Karakteristik Özellikleri

Geosentetik ailesinin başlıca üyeleri geotekstiller, geogridler, geomembranlar, geonetler, geosentetik killi şilteler, geoborular ve geokompozitlerdir. Bunlardan geotekstiller ve geomembranlar en yaygın olanlarıdır. Geogridler ise son yıllarda artarak kullanılmaya başlanmıştır. Bunlara ilave olarak belli bir sınıflandırmaya tabi olmayan geosentetik ürünler de mevcuttur. Şekil 4.1.'de geosentetik ailesinin bazı üyeleri gösterilmiştir.



Şekil 4.1.Geosentetik Malzemeler

1995 yılı verilerine göre Kuzey Amerika'da geosentetik pazarının büyüklüğü Tablo 4.2' de özetlenmiştir. Tablo 4.2'deki veriler ışığında inşaat mühendisliği tarihinde en hızlı büyüyen ve benimsenen malzemenin geosentetikler olduğu söylenebilir.[3]

MALZEME	SATIŞ (x10⁶ m²)	BİRİM FİYAT (\$/m²)	TOPLAM (x10⁶ \$)
Geotekstil	500	0,9	450
Geogrid	40	2,5	100
Geonet	50	2	100
Geomembran	75	10	750
Geosentetik Killi Şilteler	50	2,5	125
Geokompozit	25	5	125
Diğer	5	4	20
		TOPLAM (1995) =	1670

Tablo 4.2. Kuzey Amerika'da Geosentetik Satışları (1995)

Geotekstiller sentetik liflerin örülerek va da özel makinelerde işlenip preslenerek örgüsüz olarak bir araya getirilmesi ile üretilen geçirgen örtülerdir. En önemli özelliklerinden biri kendi düzlemlerinden sıvı geçişine izin vermeleri olup, geçirgenlik dereceleri üretim esnasında ayarlanabilmektedir. Pek çok uygulama alanları bulunmasına karşın, temel fonksiyonları ayırma, donatı, filtre, drenaj ve yalıtım olarak sıralanabilir. Geotekstil üretimi en az üç aşamadan oluşur. Bunlardan ilki; çeşitli katkılarla polimerlerin üretimi, ikincisi; elemanların üretimi ve sonuncusu liflerin geotekstile dönüştürülmesidir.[15] Geotekstiller üretim yöntemleri açısından iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan ilki örgülü geotekstillerdir. Bu tip geotekstiller, geleneksel dokuma tezgahlarında örülerek elde edilirler. Düz örgü sık kullanılan bir yöntemdir. Üretim bir yönde uzatılan lifler veya şeritler arasından dik istikamette lifler veva seritler geçirilerek yapılır. Sonuçta kalınlığı 1 mm kadar olan ve üniform gözenekli bir tekstil elde edilir. Örgülü tip geotekstiller, kullanılan lif ve malzeme bakımından üç grupta toplanır. Bunlardan ilki; tekil ve kalın ipliklerden oluşan monofilament örgülüler, ikincisi; ince liflerin birleşiminden oluşan multiflament örgülüler ve son olarak ince, uzun filmlerin şerit halinde kesilmesi sonucu oluşan şerit (film) örgülülerdir. Örgüsüz geotekstiller ise örgü yöntemi kullanılmadan üretilirler. Bu üretimde polimer lifleri, hareketli konveyor üzerine yerleştirilir ve birbirine bağlanır. Bu bağlama işlemi mekanik, termik veya kimyasal yolla olur. Mekanik bağlamada, gevşek bir ağ durumundaki lifler konveyörün üzerine serilir ve bu ağ karşılıklı kancalı iğnelerle donatılmış bir panonun altından geçirilir. Bu kancalı iğneler, ağın tüm kalınlığı boyunca iner ve çıkar. Yukarı çıkma sırasında ağdaki bir kısım lif, iğnelere takılır ve aşağı indiğinde tekrar bu liflerin yer değiştirip birbirlerine iyice karışması sağlanır. Her bir iğne tablasında binlerce iğne bulunur. Bu iğnelerin dağılım yoğunluğunu ayarlayarak, geotekstilin sıkılığını ve yoğunluğunu ayarlamak mümkündür. Bu tip ürünler, iğne delgili (Needle punched) olarak adlandırılır. Termik (ısı yolu ile) bağlama yönteminde ağın üstü eritilerek yapışkanlık verilir ve liflerin birbirlerine bağlanması sağlanır. Termik bağlama, liflerden olusan ağı ya sıcak rulolar arasından ya da bir fırından geçirilerek gerçekleştirilir. Kimyasal bağlamada ise akrilik yapıştırıcılar kullanılır. Lifler üzerine genellikle akrilik püskürtülür veya akrilik banyosuna yatırılır. Daha sonra fırından geçirilerek kür yapılır. Bu yöntem en az kullanılan yöntemdir.[15] Sekil 4.2' de yukarıdaki üretim yöntemlerine göre üretilmiş geotekstillerin mikro fotoğrafları gösterilmiştir. Şekil 4.2' de sol üstteki örgülü monofilament 5 kat, diğerleri 30 kat büyütülmüş resimlerdir.

Geogridler, geosentetiklerin son yıllarda hızlı bir şekilde büyüyen bir koludur. Geogridler sadece donatı amaçlı kullanılan, diğer malzemelere göre daha sert,



Şekil 4.2 Geotekstillerin Mikro Fotoğrafları

hasır şeklinde düzenlenmiş malzemelerdir. Fiziksel özellikleri tek veya iki aksta geliştirilen tipleri bulunmaktadır. Tasarım esnasında çekme kuvvetlerinin yönü biliniyorsa tek aksta çalışan, bilinmiyorsa iki aksta çalışan geogrid tercih edilir. Geogridlerin kolları (Rib) arasındaki mesafe 1 ile 10 cm arasında değişebilmektedir. Düğüm noktalarında kollar birbiri ile bağlanmaktadır. Bu bağlantı yöntemi çeşitlilik göstermektedir.

Geogrid üretiminde düğüm noktalarını düzgün bir şekilde oluşturmak, kolların geometrisini optimum şekilde ayarlamak ve bunlara uygun malzeme özelliklerini teşkil etmek amaçlanmaktadır. Şekil 4.3' te bir geogridin kol, düğüm noktası ve açıklık olarak isimlendirilen yerleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Bir Geogridin Kol, Açıklık Ve Düğüm Noktaları

"Tensar" ve "Tenax" firmalarının geogrid üretimi ilk olarak üzerinde üniform ve belli bir düzen içerindeki deliklerin bulunduğu geomembran tabakasının oluşturulması ile başlar. Bu geomembran tabakasının kalınlığı genelde 4 mm ile 6 mm arasında değişir. Daha sonra bu geomembran tabakası Şekil 4.4' te şematik olarak gösterilen işleme tabi tutulur. Bu işlemde delinmiş geomembran tabakası, içerisinde her biri bir öncekinden daha hızlı bir şekilde çalışan silindirlerin bulunduğu makinelere gönderilir. Böylece geomembran tabakasında boyuna bir gerilme oluşturulur. Bu gerilme, geomembran tabakasındaki deliklerin hareket yönünde uzaması ve deforme olmasını sağlar. Bu sayede polietilenin mukavemet özellikleri artar. İki yönlü geogrid üretiminde ise polipropilen tabakası üzerine kare şeklinde delikler delinir. Daha sonra boyuna ve enine işleme tabi tutularak kare veya dikdörtgen şeklinde açıklıklar elde edilir. Bu tek ve çift yönlü çekmeler sırasında uzun zincirli polimer molekülleri çekme yönünde sıralanarak (Moleküler oryantasyon) yüksek mukavemet elde edilir. Bu yöntem kullanılarak üretilen geogridler, düğüm noktalarında kollar aynı düzlemde birleştiğinden düzlemsel geogrid olarak isimlendirilebilirler.



Şekil 4.4. Düzlemsel Geogridlerin Üretim Süreci Şeması ("Tensar" ve "Tenax" Firmaları Üretim Yöntemi)

Geogrid üretiminde delme/uzatma yönteminin dışında yöntemler kullanan firmalar da bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri, polyester liflerin demet haline getirilmesi ve polipropilen kılıfla sarılmasıdır. Düğüm noktaları polipropilen kılıfların temas noktasında eritilmesi ile bir araya getirilir. ICI firmasının "Paragrid" ürünü bu yöntemle üretilmektedir. Polyester liflerin örülmesi yolu ile üretilen geogridlerde ise düğüm noktaları dikilerek bir araya getirilmektedir. Bu tip geogridler son olarak PVC, kauçuk veya bitüm ile kaplanarak yapısal stabilite temin edilir. Bunlar nispeten esnek geogridlerdir. Mirafi firmasının "Miragrid" ve "Matrex" ürünleri, Huesker firmasının "Fortrac" ürünü ile Strata Systems'in "Stratagrid"i bu yöntemle üretilmektedir.

Geomembranlar, en karakteristik özelliği geçirimsizlik olan polimer esaslı ince tabakalardır. Bu sebepten, temel olarak likit veya gaz bariyeri olarak kullanılırlar.

Geokompozitler, bir ya da daha fazla geosentetik malzemenin; örneğin geotekstil geogrid, geogrid - geomembran, geotekstil-geogrid-geomembran gibi kombinasyonu olup, oluşturuldukları malzemelerin fonksiyonlarını aynı anda gösterebilirler. Geonetler, likit veya gazların iki veya üç doğrultuda drenajını sağlayan, birbiri ile dar açı yapacak şekilde birleştirilmiş kollardan oluşan hasır şeklinde düzenlenmiş rijit malzemelerdir. Şekil olarak geogridleri andırmalarına karşın, geogridlere göre daha hafif, daha zayıf ve açıklıkları daha küçüktür. Ayrıca sadece drenaj amacı ile kullanılırlar. Geosentetik killi şilteler, bentonit kil tabakası ile geotekstil ve/veya geomembranların fabrika ortamında mekanik veya kimyasal bağ ile bir araya getirilmesi ile imal edilen, likit veya katı atık bariyerleridir. Geoborular, çeşitli sıvıların drenajı için delikli (perfore) ya da deliksiz olarak üretilmiş polimer esaslı borulardır. Tercih edilmelerinin başlıca sebepleri; ilk yatırım maliyetlerinin düşük olması, hafifliği, kolay uygulanabilir olması, kolay birleştirilebilmeleri, akış rejimlerinin ve durabilitelerinin çok iyi olmasıdır.

4.1. Geosentetiklerin Fonksiyonları

Geosentetiğin zemin-geosentetik yapısında üstlendiği role ya da işleve fonksiyon denilmektedir. Bir geosentetik bir yapıda birden fazla fonksiyona sahip olabilir. Ancak bu fonksiyonlardan bazıları birincil bazıları ise ikincil fonksiyonlarıdır. Geosentetiklerin altı temel fonksiyonu sayılabilir. Tablo 4.3.'de bu fonksiyonlar ilgili geosentetiğe göre verilmiştir.[15]

	FONKSİYON					
GEOSENTETİKLER	AYIRMA	FİLTRASYON	DRENAJ	DONATI	KORUMA	YALITIM
GEOTEKSTİL						
GEOMEMBRAN						
GEOGRİD						
GEONET						
GEOKOMPOZİT						
Birincil Fonksiyon :						

Tablo 4.3. Geosentetiklerin Temel Fonksiyonları

4.1.1. Ayırma fonksiyonu

Ayırma fonksiyonu, farklı iki zemin tabakasının birbirinden ayrılmasını ifade etmektedir. Burada geosentetiğin temel fonksiyonu bu iki tabakanın birbirine karışmasını önlemektir. En yaygın kullanım sahaları; yol ve hava alanı gibi trafik yüklerine maruz kaplama yapılarının tabakaları arası ve demiryollarında balast tabakası ile doğal zemin arasıdır. Şekil 4.5' te ayırma fonksiyonuna ilişkin örnek verilmiştir.



Şekil 4.5. Kaplama Yapılarında Ayırma Fonksiyonu

Kaplama yapıları araçların lastik basıncını, tabakaları arasında yayarak zeminin taşıyabileceği değerlere kadar küçültürler.Bu durum Şekil 4.6' da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Lastik Basıncının Kaplama Boyunca Dağıtılması

Kaplamanın hizmet süresi boyunca araçlardan gelen yükler taban zeminin granüler temel tabakasına doğru yer değiştirmesine sebep olur. Temel tabakasının bozunması,

etkin kaplama kalınlığının tasarım kalınlığından küçük kalması sonucunu doğurur. Geotekstiller, yol ve benzeri yapıların kaplamalarında ayırıcı olarak kullanılarak, temel tabakasının bozunmasını önlerler. Bu da yapıların yük taşıma kapasitesini ve hizmet süresini uzatmaktadır. Şekil 4.7' de geotekstil kullanılmadan ve geotekstilli halde kaplama kesiti gösterilmiştir. Buna göre etkin agrega tabakası kalınlığı, geotekstilli halde tasarım kalınlığı ile aynı olmaktadır. Diğer bir deyişle geotekstil, tabaka kalınlıklarının korunmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.7. Geotekstilsiz Ve Geotekstilli Durumda Kaplama Kesiti

Ayırma fonksiyonunda kullanılacak olan bir geotekstil bazı temel koşulları yerine getirebilmelidir. Bu koşullardan ilki, geotekstildeki açıklık boyutlarının taban zeminindeki danelerin üst tabakalara geçişini önleyecek ölçülerde olmasıdır. Bir diğer koşul su geçirimliliği ile ilgilidir. Yer altı su tabakasının yükselmesi, geotekstil tabakasının altında basınç oluşmasına neden olur. Bunun neticesinde ise yapı stabilitesini kaybedebilir. Bu sebepten temel tabakasındaki su, geotekstilin düzleminden geçerek drene edilebilmelidir. Bunun için geotekstilin geçirimliliği taban zemininin geçirimliliğinden fazla olmalıdır. Ayırıcı geotekstil delinme ve yırtılmalara karşı da dayanıklı olmalıdır. Temel tabakası yüklendiğinde, buradaki granüler malzeme geotekstil üzerine basınç uygulamaya başlar. Bu da geotekstilin delinmesine sebep olabilir. Geotekstilin ayırıcı görevine devam edebilmesi için başlangıçtaki halini koruyabilmesi gereklidir. Yapım aşamasında veya zaman içerisinde taban zemini veya temel tabakasında oluşacak deformasyonlar, geotekstilde de deformasyonlara sebep olur. Bu sebepten ayırıcı geotekstiller bu deformasyonlara karşı direnç gösterebilecek kadar kuvvetli olmalı ve kopma noktasına gelmemelidir. [6]

4.1.2. Filtrasyon fonksiyonu

Filtrasyon fonksiyonunda geotekstil, bir filtre gibi davranarak suyun geçişine izin verir, ancak en küçük dane çaplı zemini tutar ve sürüklenmesine izin vermez. Bu uygulamada geotekstil, su akımına karşı yerleştirilir. Filtrasyon işinde kullanılacak geotekstilin maksimum gözenek açıklığının uygun, su geçirgenliğinin yeterli, sıkışmadan etkilenmesinin az ve porozitesinin yüksek olması istenir. Filtrasyon fonksiyonunda geotekstil, ardı ardına sıralanmış çeşitli derecelerdeki agrega tabakalarının işlevini görmektedir. Şekil 4.8' de geotekstilsiz ve geotekstilli durumda filtrasyon fonksiyonu şematik olarak ifade edilmiştir. Filtrasyon ve ayırma fonksiyonlarının ortak noktası suyun geçişine izin verilmesidir. Ancak filtrasyon fonksiyonunda ayırma fonksiyonundan farklı olarak geotekstilin geçirgenlik değeri önem taşımaktadır.



Şekil 4.8. Geotekstilsiz Ve Geotekstilli Durumda Filtreleme

Şekil 4.9' da bir dren yapısında filtre görevi üstlenen bir geotekstil gösterilmiştir. Burada geotekstil, dren yapısının içerisine ince daneli malzemelerin sızmasını önleyerek, yapıdaki agrega tabakası ve taşıyıcı borunun tıkanmasını engellemektedir. Bu sayede dren yapısı çok daha uzun ömürlü olmaktadır.

Kaplama yapıları birbiri üzerine inşaa edilmiş zemin tabakalarından oluştukları için, yer altı suyu bu yapılarda önemli sorunlara yol açabilmektedir. Bu tip yapılarda kaplamanın altına ve yanına uygun bir şekilde inşaa edilen dren yapıları, kaplamanın hizmet süresini esnek kaplamalarda %25, rijit kaplamalarda ise %50'ye varan oranlarda arttırabilmektedir.[16]



Şekil 4.9. Bir Dren Yapısında Filtre Geotekstili Kullanımı

4.1.3. Drenaj fonksiyonu

Drenaj fonksiyonu, likit veya gazların geosentetiğin düzlemi boyunca taşınarak ya da iletilerek bir yerden bir yere aktarılmasını ifade eder. Drenaj fonksiyonunun filtreleme fonksiyonundan farkı, geosentetiğin kendi düzlemi içinde geçirimsiz olmasıdır. Drenaj fonksiyonunda ağırlıklı olarak geokompozitler ve geonetler kullanılır. Örgüsüz iğne delgili kalın geotekstiller de bünyelerinde önemli oranlarda boşluk bulundurduklarından, sıvı iletiminde kullanılabilmektedir. Bu drenaj, bilinen drenaj uygulamalarından farklı olduğundan drenaj terimi yerine transmisyon (İletme) terimi de kullanılabilir. İyi bir drenaj için geotekstilin kendi düzleminde yüksek geçirgenliğe sahip olması ve basınç etkisine karşı dayanımının iyi olması önem taşımaktadır. Şekil 4.10' da drenaj fonksiyonu şematik olarak gösterilmiştir. Burada iki geotekstil tabakasının arasına geçirgen bir tabaka oluşturulmuş, bir taraftan giren akışkanın istenilen yere kadar iletilerek istinat duvarının korunması sağlanmıştır.

4.1.4. Koruma fonksiyonu

Koruma fonksiyonu, bir yapıdaki herhangi bir elemanın geosentetik kullanımı ile korunmasını ifade eder. Bu fonksiyon en yaygın olarak atık depolama alanlarında kullanılmaktadır. Buna örnek olarak bu alanlarda geçirimsizlik elamanı olarak kullanılan geomembranların, taş, moloz ve diğer malzemelerden korunması için geotekstil kullanılması gösterilebilir.



Şekil 4.10. Drenaj Fonksiyonu Örneği

Şekil 4.11' de bir atık depolama alanında koruyucu bir eleman olarak kullanılan iğne delgili örgüsüz bir geotekstil örneklenmiştir. Bu geotekstilin kullanım amacı geomembranın, gerek inşaa, gerekse kullanım aşamalarında göreceği zararı azaltmaktır. "Naue" firması ön yaklaşım için, taban zeminin iyi sıkıştırılması ve boyutları 16 mm ila 32 mm arasında değişen çakıllardan oluşan sızıntı toplama tabakasının 30 cm ila 50 cm kalınlığında inşaa edilmesi halinde, kullanılacak örgüsüz koruma geotekstilinin, birim alan ağırlığı, 15 m yüksekliğindeki bir atık için 800 gr/m², 25 m için 1200 gr/m², 35 m için 2000 gr/m², 50 m için 3000 gr/m² olarak tavsiye etmektedir.[32]



Şekil 4.11. Bir Atık Depolama Alanında Koruyucu Geotekstil Örneği

Koruma fonksiyonunda geotekstil, deformasyonu ve gerilmeyi azaltır ya da yayar. Koruma fonksiyonu iki şekilde kullanılabilir. Bunlardan ilki, yüzey korumasıdır. Yüzey korumasında zemine yerleştirilen geotekstil, hava koşulları ve trafik gibi etkilerden yüzeyi korur. Diğer koruma şekli ise ara yüzey korumasıdır. Bu da iki malzeme arasına yerleştirilen geotekstilin, malzemelerden birini korunmasını ifade etmektedir. Ara yüzey korumasının en tipik örneği asfalt kaplama ile eski yol kaplamasının arasına geotekstil yerleştirilmesidir.

4.1.5. Yalıtım fonksiyonu

Yalıtım (Bariyer) fonksiyonu, geosentetiğin düzlemi boyunca sıvı akışının engellenmesini ifade etmektedir. En yaygın kullanım alanları, havuzlar ve depolama alanlarıdır. Bu uygulamalarda çoğunlukla geomembran kullanılmaktadır. Örgüsüz geotekstiller de geçirimsiz bir malzeme ile doygun hale getirildiklerinde bariyer görevi üstlenebilirler. Geotekstillerin bu şekilde yaygın olarak kullanıldığı uygulamalardan biri, kaplama yapılarının yüzey tabakalarının yenilenmesidir. Bu uygulamada geotekstil, asfalt cinsi bir malzeme ile doygun hale getirildikten sonra üzerine yeni kaplama yüzeyi inşaa edilir. Bu sayede yüzeyden kaplamanın tabakalarına su geçişi önlenerek kaplama ömrü uzatılmış olur.

Geosentetiklerin yalıtım fonksiyonunun en yaygın kullanıldığı uygulama alanı, atık depolama alanlarıdır. Bu alanlarda geosentetikler, atık alanının altında bir geçirimsizlik elamanı olarak ya da atık alanının kapatılmasında kullanılabilmektedir. Atık alanlarının inşaatı ve bu alanlarda yapılacak işlemleri düzenleyen yönetmelikler, Avrupa'da Avrupa Birliği Konseyi tarafından düzenlenmektedir. Atık alanlarının altında kullanılan geosentetikler, atık tabakasından alt tabakalara sızıntı oluşmasını önleyerek doğal kaynakların korunmasını sağlarlar. Şekil 4.12' de atık alanlarında Avrupa Birliği standartlarına uygun olarak geosentetik kullanımı örneklenmiştir.[32]



Şekil 4.12. Yalıtım Fonksiyonuna Örnek Uygulamalar

4.1.6. Donatı fonksiyonu

Donatı fonksiyonu bir zeminin geosentetikler gibi çekme dayanımı olan bir malzeme ile güçlendirilmesini ifade eder. Bu fonksiyon, yüksek dayanımlı geotekstiller ve geogridlerle sağlanır. Donatı fonksiyonunun kullanıldığı başlıca alanlar; donatılı duvar, donatılı şev uygulamaları ile taşıma gücü zayıf bölgelerde yapılan kaplama yapılarıdır. Şekil 4.13' te donatılı şev örneği verilmiştir.



Şekil 4.13. Donatılı Şev Örneği

Kaplama yapıları, geosentetiklerle donatılarak trafik yüklerine karşı ek dayanım sağlanır. Bu trafik yükleri; kaplamanın inşaası sırasındaki yükler olabileceği gibi, kaplamanın hizmet süresi boyunca maruz kaldığı taşıt yükleri de olabilir. Kaplamalardaki donati fonksiyonunda deneysel yollar ile gözlemlenmiş iki esas etki söz konusudur. Bunlar, yatay mesnetlenme ve membran etkisidir. Yatay mesnetlenme etkisi, agrega temel tabakası ile geosentetik arasında oluşan kesme kuvveti etkileşimi sonucu ortaya çıkar. Bu etki daha çok temel tabakasının güçlendirilmesi olarak düşünülse de taban zeminine de olumlu bir etkisi vardır. Temel tabakası ile geosentetik arasında oluşan kesme kuvveti etkileşimi, temelin yatay hareketini önleyerek düşey deformasyonun azalmasını sağlar. Bu kesme etkileşiminden dolayı temeldeki yatay gerilmede bir artış sağlanarak temelin rijitliği artırılmış olur. Temelin rijitliğinin artışı düşey deformasyonu azaltır ve taban zeminine iletilen düşey gerilmenin dağılımını iyileştirir. Geosentetik ile temel arasındaki kesme kuvveti etkileşimi, taban zeminine iletilen kesme kuvvetini azaltarak taban zemininin oluşan deformasyonun azalmasını sağlar. Şekil 4.14' te yatay mesnetlenme etkisi şematik olarak gösterilmiştir. Yatay mesnetlenme mekanizmasında geotekstil ile zemin arasında oluşan sürtünme ya da geogrid ile zemin arasındaki kenetlenme sistemin yatay hareketini önlemektedir.[17]



Şekil.4.14. Temel Tabakasında Yatay Mesnetlenme Etkisi

Membran etkisi, taşıma gücü zayıf olan zemin üzerine inşaa edilen temel tabakalarında ve belli sayıda tekrarlı yüke maruz kalmış kaplamasız yollarda önem taşımaktadır. Membran mekanizması; taban zeminini kayma göçmesi noktasına getirebilen ve nispeten büyük yüzey deformasyonları oluşturabilen yükler altında geosentetiğin deforme olması ile ortaya çıkar. Şekil 4.15' te geosentetiğin bu yükler altında alması beklenen şekli gösterilmiştir. Geosentetiğin deformasyonu neticesinde malzemede oluşan çekme kuvveti, yükün uygulama yerinin altında yukarı doğru bir reaksiyon ve taban zeminini hapsetme etkisi oluşturur. Taban zemininin hapsedilmesi kayma göçmesine karşı direnci arttırır. Membran etkisi genelde ayırma fonksiyonu ile birlikte düşünülür.[17]



Şekil.4.15. Temel Tabakasında Membran Etkisi

Webster ve Watkins [17] tarafından arazide 1:1 ölçekli geotekstil donatılı kaplamasız yollarda yapılan deneysel çalışmada membran mekanizması ortaya konulmuştur. Bu amaçla, zayıf taban zemini üzerine biri kontrol kesiti, biri düşük modüllü ve biri de yüksek modüllü geotekstille donatılmış 3 farklı kesit oluşturularak bir seri yüklemeye tabi tutulmuştur. Yüzey deformasyonunun 25 mm' den küçük olduğu halde tüm kesitler birbirine yakın performans göstermiştir. Bu da yatay mesnetlenme etkisinin zayıf olduğu anlamına gelmektedir. Yüzey deformasyonunun 25 mm' den büyük olduğu durumda ise geotekstil donatılı kesitlerde kontrol kesitine göre daha az deformasyon görülmüştür. Yüksek modüllü geotekstil donatılı kesitte görülen deformasyon değerleri, geotekstilin başarı ile çalışarak taban zeminine iletilen düşey gerilmeyi izin verilebilen seviyeye düşürebildiğini göstermektedir. Ayrıca kontrol kesitinde tabakaların birbirine karışması, diğer kesitlerde geotekstillerin, aynı zamanda bir ayırıcı olarak görev yaptığının işaretidir. (Şekil 4.16)



Şekil.4.16. Temelde Membran Etkisi Üzerine Yapılan Deneyin Sonucu [17]

Membran mekanizması bir süreç sonucu ortaya çıkar. Başlangıçta uygulanan yük taban zemini dayanımını aşabilir. Bunun neticesinde yüzey deformasyonu oluşur. Uygulanan yük, taban zemini dayanımını aştığı sürece yüzey deformasyonu ilerlemeye devam eder. Bu da geosentetiğin gittikçe daha fazla yük alması demektir. Taban zeminindeki gerilme izin verilebilen seviyeye gelene kadar bu süreç devam eder. Bu noktada sistem stabil hale gelir ve yüzey deformasyonu sabit bir değere ulaşır. Membran mekanizmasının ortaya çıkabilmesi için yüzeyde önemli miktarda deformasyon oluşmalıdır. Bu da taban zemininin zayıf olması ya da trafik yüklerinin ağır olması ile ortaya çıkabilir. Ayrıca gelen trafik yükleri kanalize olmalı, bir başka
deyişle, sürekli olarak kaplama üzerindeki belli bir ekseni takip etmelidir. Bu mekanizmada çekme modülü yüksek geosentetikler tercih edilmelidir. Çekme modülü daha yüksek olan geosentetikler düşük deformasyonlarda daha yüksek çekme kuvvetlerini karşılayabildiklerinden, yük daha geniş bir alana dağıtılır ve böylece kaplamada daha az deformasyon meydana gelir.[17]

Kaplama dolgularının geosentetiklerle donatılmasında; taban zemininin dayanımı, temel tabakasının kalınlığı ve cinsi, geosentetiğin cinsi, yerleşimi ve tabaka sayısı ile trafik yükünün büyüklüğü başlıca kontrol parametreleridir. Çekme membranı etkisini geotekstiller ya da geogridler gösterebilirken, yatay mesnetlenmede geogridler çok daha etkindir. Tasarım esnasındaki düşünceler Şekil 4.17' de şematik olarak gösterilmiştir.[17]



Şekil.4.17. Kaplamalarda Geosentetik Tipinin Seçimi

4.2. Kaplamalarda Donatı Elemanı Olarak Geotekstil ve Geogrid Kullanımı

Geotekstiller ve geogridler çeşitli uygulamalarda donatı elemanı olarak kullanılan malzemelerdir. Çekme dayanımı gibi bazı karakteristik özellikleri benzerlik gösterse de donatı mekanizması açısından aralarında farklar bulunmaktadır. Kaplamalarda donatı fonksiyonunun yanı sıra, ayırma, filtre ve drenaj fonksiyonlarının gerekliliği de sorgulanmalıdır. Bu fonksiyonlardan herhangi birinin ihmal edilmesi kaplamada kullanılan donatı elemanının işlevini yitirmesine, başka bir deyişle kaplamanın başarısız olmasına yol açabilir. Kaplama yapılarında geogridler, zayıf zeminler üzerinde donatı elemanı olarak kullanılırlar. Bu sayede kaplama tabakalarının kalınlıkları azaltılabilir ya da kaplamanın hizmet süresi uzatılabilir. Bu uygulamanın bir başka faydası ise farklı oturmaların azaltılabilmesidir. Kaplama yapılarında geogridler; kenetlenme, güçlendirme, ve hapsetme yolları ile iyileştirme sağlarlar. Geogrid üzerindeki granüler dolgu sıkıştırıldığında agrega daneleri geogrid açıklıklarına sıkışarak kenetlenme mekanizmasını ortaya çıkarır. (Şekil 4.18) Kenetlenme mekanizması sayesinde geogrid, yatay kesme kuvvetlerine karşı koyarak yumuşak taban zemininin taşıma gücünü arttırır. Geogridlerin güçlendirme etkisi, kaplamadaki agrega tabakasına yüksek çekme modülleri sayesinde çekme dayanımı sağlanmasını ifade etmektedir. Geogridler agrega tabakası altında üniform bir hapsetme düzlemi oluşturarak, taban zemininin aşağı ve yukarı doğru hareketini önler. Geogridlerin bu etkisi hapsetme etkisi olarak adlandırılır.[19]



Şekil.4.18. Kenetlenme Mekanizması

Webster [17] tarafından yapılan deneyde taban zemini dayanımı %8 olmak üzere, donatı kullanılmamış 250 mm kalınlığında temelin performansı ile geogrid donatılı 150 mm kalınlığındaki temelin performansı karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarında, bu iki temelin birbirine yakın performans gösterdiği ortaya konmuştur. Şekil 4.19' da görüldüğü gibi 250 mm kalınlığındaki kontrol kesiti 150 mm kalınlığındaki donatılı kesit ile aynı performansı göstermektedir.



Şekil.4.19. Geogrid Donatılı Temellerin Performansı (Webster) [17]

Al-Qadi ve Diğerleri [17] tarafından yapılan deneylerde ise 3 farklı kesit kullanılmıştır. Bunlardan biri örgülü geotekstiller ile, diğeri ise iki aksta çalışan düzlemsel geogridler ile donatılmıştır. Son kesitte ise kontrol amacı ile donatı kullanılmamıştır. 3,3 yıl kullanımdan sonra kesitler incelemeye alınmış ve yüzey deformasyonunun geotekstilli kesitte 18 mm, geogridli kesitte 21 mm ve kontrol kesitinde 33 mm olduğu görülmüştür. Buna göre, geotekstilin filtreleme özelliği sayesinde geotekstilli kesitin tabakalarında herhangi bir hasar olmamış ve bu sayede en iyi sonuç elde edilmiştir. Geogridli kesitin tabakalarında hasar meydana gelmiş ancak geogridin yatay mesnetlenme özelliği sayesinde kontrol kesitine göre iyi sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak bazı zeminlerde donatı fonksiyonundan verim alabilmek için filtreleme, drenaj ve ayırma gibi fonksiyonların ihmal edilmemesi gerektiği ortaya konulmuştur.

Geotekstiller kaplama dolgularında ayırıcı, filtre, donatı ve drenaj gibi fonksiyonlar üstlenebilirler. Geotekstillerin donatı mekanizması sadece membran etkisidir. Bu etki, belli bir deformasyondan sonra ortaya çıkar. Deforme olmuş geotekstil kaplamada oluşan çekme kuvvetlerinin bir kısmını karşılar. Bu sayede zeminin taşıma gücünde bir artış sağlanır. Donatılmamış agrega tabakalarının temel göçme sebebi yatay kaymadır. Geotekstiller, geogridlerden farklı olarak, yatay kaymayı sadece zemin ile aralarındaki sürtünme sayesinde karşılayabilirler. (Şekil 4.20)



Şekil 4.20. Geotekstillerle Geogridler Arasındaki Temel Fark

Geogridlerdeki kenetlenme mekanizmasında, geogrid açıklıkları ile kenetlenen zemin danelerinin yükleme altında bile yanal hareketi engellenmiştir. Şekil 4.21' de gösterildiği gibi bu mekanizma sayesinde açıklık üzerindeki piramit şeklindeki bir bölge de yükünü geogride aktarabilir. Bu yükleme piramitleri birbirlerine yük aktarımı yaparak sisteme gelen yükü geogride iletirler. Bunun neticesinde, tüm sistemin yük altında yanal hareketi önlenmiş olur. [18]



Şekil 4.21. Geogrid Yükleme Piramitleri [18]

Geotekstillerle geogridler arasındaki bu mekanizma farklılığı malzemelerin üretim yöntemleri ve karakteristik özellikleri ile yakından ilişkilidir. Yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına göre, kaplama yapılarında geogridlerin donatı fonksiyonu açısından daha iyi performans gösterdiği, bu nedenle geotekstillerin filtre, drenaj ve ayırıcı olarak kullanılması; donatı elemanı olarak geogridlerin tercih edilmesi gerektiği ortaya konulmuştur.[19]

Barksdale ve diğerleri [17] tarafından yapılan deneyde geogrid ve geotekstillerin donatı performansları karşılaştırılmıştır. Bu deneyde geotekstilin çekme modülü geogridden 2,5 kat fazla olmasına karşın geogridin performansının daha iyi olduğu görülmüştür. Deneyde, geosentetikler 200 mm kalınlığındaki temel tabakasının ortasına yerleştirilmiştir. Taban zemininin CBR değeri 3 olup, asfalt kaplama 30 mm' dir. Deney sonuçlarında 12,5 mm yüzey deformasyonuna neden olan yük tekrar sayılarının donatılı ve donatısız kesitteki değerlerinin oranı, başka bir deyişle trafik fayda oranı verilmiştir. Bu oran geogrid için 17, geotekstilde ise 2,5 olarak bulunmuştur. (Şekil 4.22)



Şekil 4.22. Donatı Fonksiyonunda Geotekstillerle Geogridlerin Karşılaştırılması (Barksdale) [17]

Geogridler kaplamalarda ihtiyaca göre bir veya daha çok tabaka halinde kullanılabilmektedir. Şekil 4.23' te tek ve çift tabaka geogrid uygulamasından örnek verilmiştir.



Şekil 4.23. Temel Dolgularında Geogrid Yerleşimi

Webster [17] tarafından yapılan deneyde nispeten kalın (350 mm) bir temel tabakasında, temelin altına yerleştirilen geogridin ortadakine göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. (Şekil 4.24) Barksdale' in [17] deneyinde ise bu sonucun tersine 200 mm' lik temelde ortadaki geogridin daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir. Webster' ın deneyinde uygulanan yük 130 kN, Barksdale' in deneyinde ise 6,6 kN olduğundan, nispeten hafif yüklerde geogridin temelin yukarı kısımlarına yerleştirilmesi gerektiği söylenebilir. Yapılan bazı deneysel çalışmalar sonucuna göre de geogridin, temelin yüzeye çok yakın kısımlarına yerleştirilmesinin donatı etkisini ortadan kaldırdığı ortaya konuluştur. Sonuç olarak geosentetiğin yerinin; tabaka kalınlığı, yük şiddeti ve taban zemini dayanımı parametrelerine bağlı olduğu söylenebilir.



Şekil 4.24. Geogridin Temel Tabakasındaki Yerinin Etkileri Üzerine Yapılan Deneyin Sonucu (Webster) [17]

4.3. Donatılı Temel Tabakası Kalınlığının Tespiti

Geosentetiklerin mukavemet özellikleri, idealleştirilmiş koşullarda standart testler yardımı ile tespit edildiğinden hesaplara başlamadan önce izin verilebilen değerlerin bulunması gereklidir. Donatı fonksiyonunda en önemli mukavemet özelliği, çekme dayanımıdır. Bir geosentetiğin izin verilebilen çekme dayanımı, nihai çekme dayanımının bazı katsayılara bölünmesi ile elde edilir. Buna göre izin verilebilen çekme dayanımı,

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{(R_y x R_s x R_k x R_b)}$$
(4.1)

T_{all} : İzin verilen çekme dayanımı	T _{ult} : Nihai çekme dayanımı
Ry : Yerleştirme hasarları için katsayı	R _s : Sünme için katsayı
Rk : Kimyasal bozunma için katsayı	R _b : Biyolojik bozunma için katsayı

formülü ile hesaplanabilir. Çeşitli uygulamalarda kullanılması gereken katsayılar, Tablo 4.4' te verilmiştir. Bunlara ilave olarak her projede, projeye has değişik azaltma katsayıları da mevcuttur. Tablo 4.4' deki sünme katsayılarının alt sınırı, hizmet süresi kısa olan yapılar için ya da sünmenin sistem performansında etkili olmadığı durumlarda kullanılmalıdır.[3]

Ungularia Alam	Yerleştirme	S	Kimyasal	Biyolojik			
Uygulama Alahi	Hasarları	Sunme	Bozunma	Bozunma			
GEOTEKSTILLERDE							
Ayırma	1,1-2,5	1,5-2,5	1,0-1,5	1,0-1,2			
Koruma	1,1-2,0	1,2-1,5	1,0-2,0	1,0-1,2			
Kaplamasız Yollarda	1,1-2,0	1,5-2,5	1,0-1,5	1,0-1,2			
Duvarlarda	1,1-2,0	2,0-4,0	1,0-1,5	1,0-1,3			
Dolgularda	1,1-2,0	2,0-3,5	1,0-1,5	1,0-1,3			
Taşıma Gücü	1,1-2,0	2,0-4,0	1,0-1,5	1,0-1,3			
Şev stabilizasyonu	1,1-1,5	2,0-3,0	1,0-1,5	1,0-1,3			
Kaplama yüzeyi yenilenmesinde	1,1-1,5	1,0-2,0	1,0-1,5	1,0-1,1			
Demiryollarında (filtre/ayırma)	1,5-3,0	1,0-1,5	1,0-2,0	1,0-1,2			
	GEOGRİDL	ERDE	-				
Kaplamasız Yollarda	1,1-1,6	1,5-2,5	1,0-1,5	1,0-1,1			
Kaplamalı Yollarda	1,2-1,5	1,5-2,5	1,1-1,6	1,0-1,1			
Dolgularda	1,1-1,4	2,0-3,0	1,1-1,4	1,0-1,2			
Şevlerde	1,1-1,4	2,0-3,0	1,1-1,4	1,0-1,2			
Duvarlarda	1,1-1,4	2,0-3,0	1,1-1,4	1,0-1,2			
Taşıma Gücü	1,2-1,5	2,0-3,0	1,1-1,6	1,0-1,2			

Tablo 4.4. Çeşitli Uygulamalar İçin Azaltma Katsayıları

Kaplamasız yollarda ve granüler zeminlerde temel tabakasının tespiti için geliştirilen yöntemlerden en önemlisi Giroud-Noiray [22] tarafından ortaya konulan yöntemdir. Bu yöntemde lastik basıncı taban zeminine gerilme dağılım teorisine göre dağıtılmaktadır. Agrega tabakası kalınlığı, taban zemini üzerindeki gerilmenin taban zemini taşıma gücüne eşit olacak şekilde ayarlanır. Giroud-Noiray yönteminde bu amaçla yapılan kabuller şöyle sıralanabilir:

- i. Lastik basıncı yüzeye dikdörtgen şeklindeki bir alandan aktarılır.
- ii. Lastik basıncı derinlik arttıkça dikdörtgen şeklindeki yük dağıtma alanı üniform şekilde artar.
- iii. Yük dağıtım alanı, yüzeydeki alandan aşağı ve açığa doğru çizilen çizgilerle belirlenir. Bu çizgilerin düşeyle yaptığı açı gerilme dağıtım açısı olarak adlandırılır.

"Tensar" firmasının yaklaşımında ise yük, dairesel bir alandan kaplamaya aktarılır ve gerilme dağıtımı Boussinesq teorisine göre yapılır. Her iki yöntemde de göz önüne alınan parametreler;

- i. Lastik yükü,
- ii. Lastik basıncı,
- iii. Taban zeminin kesme dayanımıdır.

Ayrıca her iki yöntemde de geosentetik donatının, taban zemininin taşıma gücünü yerel göçmeden genel göçme moduna dönüştürdüğü kabulü yapılır. Bu durum Gourc ve diğerleri [17] tarafından yapılan bir deneyde incelenmiştir. Şekil 4.25 incelenecek olursa, geotekstilsiz halde göçmenin daha yerel olduğu başka bir deyişle zımbalama tipinde olduğu söylenebilir. Geotekstili halde ise taban zeminindeki plastik akışın daha az yerel olduğu, daha çok genel göçme mekanizmasına karşılık geldiği görülür.

Giroud-Noiray yöntemi yükleme sayılarını ve kabul edilebilir iz derinliğini de (Yüzey deformasyonu) göz önüne almaktadır. Ancak her iki yöntemde de donatının ve temel tabakası malzemesinin özellikleri dikkate alınmamaktadır. Giroud-Han [22] tarafından geliştirilen en son yönteme göre temel malzemesinin dayanımı (Modülü), temel tabakasındaki gerilme dağıtım açıları ve geosentetiğin açıklık stabilite modülü de dikkate alınmıştır.



Şekil 4.25. Taban Zemini Göçme Mekanizmalarının Deneysel Gösterimi, Gourc ve Diğerleri [17]

Giroud-Han yöntemi teorik bir model üzerine dayanmaktadır. Bu modelde lastiğin yüzey ile temasının eşdeğer bir dairesel alan üzerinden olduğu kabul edilir. Taban zemininin üzerindeki gerilme de daireseldir. Böylece gerilme dağıtım yüzeyi koni şeklini alır. Giroud-Noiray yönteminde ise bu yüzey trapezoidtir. Buna göre,

$$p = \frac{P}{\pi . (r + h. \tan \alpha)^2}$$
(4.2)

r : Eşdeğer lastik temas alanını yarıçapı α : Gerilme dağıtım açısı

eşitliği kurulabilir. Taban zeminin üzerindeki gerilme, taban zeminin taşıma gücünden fazla olamayacağından derinlik değeri buna göre bulunur. Taban zemininin taşıma gücü,q,

$$q = m.C_u.N_c \tag{4.3}$$

formülü ile bulunur. Eşitlik (4.3), eşitlik (4.2)'de yerine konulursa,

$$h = \frac{1}{\tan \alpha} \left(\sqrt{\frac{P}{\pi . m. C_u. N_c}} - r \right)$$
(4.4)

 C_u : Drenajsız kayma dayanımı N_c : Taban zemini taşıma gücü katsayısı

m : Taşıma gücü mobilizasyon katsayısı

bağıntısı elde edilebilir. N_c katsayıları klasik yüzeysel temel taşıma gücü teorisine göre belirlenmektedir. Buna göre temel tabakasının donatısız olduğu halde yerel taşıma gücü göçmesine göre N_c = 3,3; geotekstil donatılı halde zemin ile temel arasında pürüzsüz bir tabaka bulunduğundan genel taşıma gücü göçmesine göre N_c =

5,14; geogrid donatılı halde ise temelle zemin arasında pürüzlü bir tabaka bulunduğundan $N_c = 5,71$ alınabilir. Taşıma gücü mobilizasyon katsayısı, m, belli bir deformasyonda toplam taşıma gücü kapasitesinin devreye giren kısmını ifade etmek için kullanılır. Bu katsayı (r/h) ile s (Deformasyon) değerlerinin bir fonksiyonudur. Taşıma gücü mobilizasyon katsayısı nispeten ince agrega temellerdeki 75 mm (3 inç) yüzey deformasyonunda 1,0'e çok yakın seyreder. Nispeten kalın agrega temellerde ve/veya 75 mm' den düşük yüzey deformasyonlarında 1,0'den küçük değerler alır. Gerilme dağıtım açısı yüksek modüllü temellerde düşük modüllü temellere göre daha büyük değerler alır. Giroud-Han yönteminde,

 α_1 : Yumuşak taban üzerindeki rijit temeldeki başlangıç açısı

α_0 : Homojen malzemedeki gerilme dağıtım açısı

olmak üzere, α_1 , α_0 , ve temel ile taban zemininin modülleri (ya da CBR değerleri) arasında aşağıdaki ilişki kurulmaktadır:

$$\tan \alpha_{1} = \tan \alpha_{0} \left[1 + 0,204.(\frac{E_{tm}}{E_{tb}} - 1) \right]$$
(4.5)

$$\tan \alpha_{1} = \tan \alpha_{0} \left[1 + 0.204.\left(\frac{3.48.\text{CBR}_{\text{tm}}^{0.3}}{\text{CBR}_{\text{tb}}} - 1\right) \right]$$
(4.6)

Etm - CBRtm : Temel tabakasının modülü ve CBR değeri

Etb – CBRtb : Taban zemininin modülü ve CBR değeri

Yapılan araştırmalara göre gerilme dağıtım açısı ile yük tekrar sayısı (N) arasındaki ilişki Bağıntı 4.7' de verilmiştir.

$$\tan \alpha = \frac{\tan \alpha_1}{1 + k \log N} \tag{4.7}$$

k : Temel tabakası kalınlığına ve geogridin açıklık stabillite modülüne (J) bağlı bir katsayı

Taşıma gücü mobilizasyon katsayısının tespiti ve yukarıdaki eşitliklerin düzenlenmesi ile minimum temel tabakası kalınlığı, h, Bağıntı 4.8 ile bulunabilir:

$$h = \frac{1,195.(0,910+0,019J-1,744J^2)\left(\frac{r}{h}\right)^{1,5}.\log N}{\left[1+0,204.(\frac{3,48.CBR_{tm}^{0.3}}{CBR_{tb}}-1)\right]} \cdot \left(\sqrt{\frac{P}{13,7.N_c}\left(\frac{s}{3}\right)\left[1-0,9exp\left(-1,426\left(\frac{r}{h}\right)^{1,5}\right)\right]}.CBR_{tb}} - r\right)$$
(4.8)

Eşitlik (4.7)'de yüzey deformasyonu, s, inç; lastik yükü, P, pound, temel tabakası kalınlığı, h ile lastik temas yüzeyi eşdeğer yarıçapı, r, inç olarak kullanılmalıdır. (1 inç=2,54 cm; 1 Pound=0,4536 kgf)

Temel tabakasının donatısız olduğu durumda $N_c = 3,3$, J=0; geotekstil donatılı durumda $N_c = 5,14$, J=0; geogrid donatılı durumda ise $N_c = 5,71$ olup J, kullanılacak geogridin açıklık stabilite modülüdür. Örneğin TensarBX1100 geogridinde J=0,32 m-N/deg, BX1200 geogridinde ise J=0,65 m-N/deg.'dir.

Teorik olarak Giroud-Han metodu tüm taban zemini iyileştirme uygulamalarında kullanılabilir. Taban zemini iyileştirmelerinde kullanılan geogridlerin verimi birkaç etkene bağlıdır. Geogrid gelen yükü tabana etkin bir şekilde iletebilmelidir. Geogridin görevini etkileyen özellikleri aşağıda anlatılmıştır.

Geogrid tipi olarak düzlemsel geogridler tercih edilmelidir. Bu tip geogridlerde düzlemsel olmayan geogridlere göre yerleştirme sırasında düğüm noktalarında herhangi bir hasar, elemanların birbirinden ayrılması vs. gibi problemler yaşanmamaktadır. Giroud-Han yöntemi düzlemsel geogridlerde geçerlidir. Açıklık stabilite modülü de başlangıç çekme modülünü, rijitliği, hapsetme etkisini ve stabiliteyi kontrol eden bir parametredir. Bu sebepten stabilite modülü yüksek olan geogridler daha iyi performans gösterir. Giroud-Han yöntemi, açıklık stabilite modülünün 6,5 cm-kg/deg değerine kadar geçerlidir. Geogridin kol kesiti de geogridler, eğimli kol kesitlerine göre daha iyi bir performans gösterir. Giroud-Han yöntemi köşeli kesitlerde geçerlidir. (Şekil 4.26)

Daha kalın kol kalınlığı zemin ile temel tabakası arasında daha iyi bir etkileşim sağlar. Giroud-Han yöntemi kol kalınlığı en az 0,8 cm (0,03 inç) olduğu hallerde geçerlidir. Geogridin açıklık boyutları optimum boyutlarda olmalıdır. Yapılan araştırmalara göre, agrega temel – zemin kombinasyonu ile inşaa edilen yollarda açıklık boyutları 2,3 cm-3,8 cm arasında olmalıdır. Giroud-Han yöntemi açıklık boyutları, (Makine ve makineye dik yönde) bu değerler arasındaki ürünlerde geçerlidir. Düğüm noktası verimliliği de geogridin performansında önemli bir

parametredir. Geogridin düğüm noktaları temeldeki daneleri hapsedebilecek kadar güçlü olmalıdır. Giroud-Han yönteminde düğüm noktası verimliliği, nihai çekme dayanımının %90'nından az olmamalıdır.



KÖŞELİ KOL KESİTİ



EĞİMLİ KOL KESİTİ

Şekil 4.26. Geogrid Kollarının Köşeli Ve Eğimli Enkesiti

"Tensar" firmasının kullandığı yöntemde, yumuşak taban zeminlerindeki geogrid donatı yerel kesme göçmelerini önleyerek taban zemininin taşıma gücünü arttırmaktadır. (Şekil 4.27) Yumuşak zeminlerde toptan göçme meydana gelmeden önce yerel kesme göçmesi ortaya çıkmaktadır. Yerel kesme göçmesi, taban zemini kesme dayanımının gelen yükü karşılayamayıp aşırı deformasyonlar oluşması sonucu gerçekleşir. Donatılmamış dolgu altındaki taban zemini yerel kesme göçmesine nihai taşıma gücünün yarısındayken ulaşır. Bu yönteme göre taban zemini üzerindeki gerilme, kaplama yüzeyine gelen yükün Boussinesq'e göre dağıtımı ile bulunur.[24] Tensar yöntemine göre yüzey deformasyonları; zeminin nihai taşıma gücü,

$$q_u = 3.1 \, x \, c_u$$
 (4.9)

q_u : Donatısız halde zeminin taşıma gücü c_u : Zeminin drenajsız kayma dayanımı

değerine eşit olduğu zaman oluşmaya başlamaktadır. Geogridler, zeminin taşıma gücünü nihai taşıma gücüne yükseltir:

$$q_r = 6.2 \, x \, c_u$$
 (4.10)



Şekil 4.27. Tensar Yönteminde Geogridin Yerleşimi

Tasarım aşamasında ilk olarak taban zemininin drenajsız kayma dayanımı bulunur. Taban zemininin donatılı ve donatısız hallerde izin verilen taşıma gerilmesi tespit edilir. Daha sonra tasarım yükü, P, tespit edilir. Kauçuk lastiklerde tasarım yükü, lastik yüküne (Aks yükünün yarısına) eşittir. Temas yüzeyi basıncının lastik basıncına eşit olduğu kabulü yapılır. Bu işlemden sonra temas yüzeyi alanı bulunur. Bunun için yükleme alanı eşdeğer yarıçapı, R,

$$R = \left(\frac{P}{3,14 \,\mathrm{x}\,\mathrm{p}}\right)^{0.5} \tag{4.11}$$

formülü ile hesaplanabilir. Bağıntıdaki temas yüzeyi basıncı, p, temas yüzeyi alanı, a x b, olmak üzere,

$$p = \frac{P}{a x b}$$
(4.12)

ilişkisi kurulabilir. Buradan donatısız haldeki dolgu kalınlığı, zu,

$$z_{u} = \frac{R}{\sqrt{\left(1 - \frac{q_{u}}{p}\right)^{0.67} - 1}}$$
(4.13)

Donatılı halde dolgu kalınlığı, z_r, ise

$$z_{u} = \frac{R}{\sqrt{\left(1 - \frac{q_{r}}{p}\right)^{0.67} - 1}}$$
(4.14)

formülü yardımı ile bulunabilir. Son olarak dolgunun taşıma gücü, q_f, temas yüzeyi basıncı ile karşılaştırılmalıdır.

$$q_f = 3.1 \, x \, c_f$$
 (4.15)

Örnek : Donatılı dolgu kalınlığı hesabı

Taban zeminin drenajsız kayma dayanımı,	$c_u = 4,0 \text{ psi}$
Çift lastik yükü,	P = 11000 lb
Lastik basıncı,	p = 100 psi
Dolgunun kayma dayanımı,	$c_f = 20 \text{ psi ise}$

 $q_u = 3,1 x 4,0 = 12,4 psi$ (Donatisiz hal)

 $q_r = 6,2 \ge 4,0 = 24,8 \text{ psi}$ (Donatılı hal)

 $R = [11000 / (3,14 x 100)]^{0,5} = 5,9$ inç olarak tespit edilir.

Bu değerlere göre Eşitlik 4.13 ve Eşitlik 4.14 yardımı ile, donatısız halde dolgu kalınlığı 19,7 inç, donatılı halde 12,9 inç olarak tespit edilir. Dolgunun kayma dayanımı 20 psi olduğundan,

 $q_f = 3,1 \ge 20 = 62 \text{ psi}$

Bu durumda dolgu tek başına gelen yükü taşıyamıyor demektir. Bu amaçla dolgunun kayma dayanımı 20 psi olan iyi derecelenmiş bir agrega tabakası ile takviye edilmesi düşünülebilir. Buna göre,

 $q_f = 3,1 \ge 20 = 62 \text{ psi}$

R = 5,9 inç olduğundan,

 $z_f = 5.9/[1/(1-62/100)^{0.67}-1]^{0.5} = 6.2$ inç olarak tespit edilir.

Bu durumda dolgunun donatısız haldeki kalınlığı 19,4 - 6,2 = 13,2 inç, donatılı haldeki kalınlığı ise 12,9 - 6,2 = 6,7 inç olarak tespit edilir. (Şekil 4.28)



Şekil 4.28. Tensar Yöntemi Örneği

Donatılı temel tabakası kalınlığının tespitinde yukarıda verilen analitik yönteme ilaveten daha pratik çözümler için üretilmiş olan tasarım eğrileri de kullanılabilir. Bu amaçla "Tensar" ın tasarım eğrileri ve "Huesker" firmasının Floss (1988)' un yöntemine dayanarak geliştirdiği tasarım eğrileri EK-C' de verilmiştir.

Örnek : Bir hava alanında pistin dolgu kalınlığının donatılı ve donatısız hallerde karşılaştırılması [29]

Şekil 4.29' da bir pist kesiti ve diğer ilgili parametreleri verilmiştir. Bölüm 3.1' de verilen esaslara göre belirlenen tasarım uçağı yükü 86500 kg ve yıllık kalkış sayısı 16000' dir. İniş takımı cinsi olarak Airbus A 320-200 uçağının iniş takımı baz alınmıştır.



Şekil 4.29. Örnek Pist Kesiti

Taban zemininin C_u = 70 kN/m² olduğundan CBR = %2,9 değerini alacaktır. Airbus A-320-200 uçağının sınıflandırma numarası (ACN) bu CBR değeri için 79 olarak verilmiştir. Yıllık kalkış sayısı 16000, orta seviyede bir trafik anlamına gelmektedir. Buna göre Şekil 4.30' dan çift tandem düzeni için ACN=79'a göre bir kalınlık değeri okunabilir. Şekil 4.30' da X düşey ekseni yüzey kaplaması, temel tabakası ve alt temel tabakasının toplam kalınlık değerini vermektedir. X eksenindeki değerleri okumak için düz çizgiler takip edilmelidir. Diğer düşey eksen Y' den ise kesik çizgiler yardımı ile yüzey kaplaması ve temel tabakasının toplam kalınlığı okunabilir. Burada yüzey kaplamasının minimum değeri 125 mm olarak alınmalıdır. Buna göre, ACN=79, CBR=%2,9, trafik hacmi orta ve iniş takımı çift tandem için toplam kalınlık X ekseninden 1750 mm, Y ekseninden de 375 mm. okunur. Buna göre yüzey kaplaması 125 mm, temel tabakası 250 mm, alt temel tabakası ise 1375 mm olarak tespit edilir.



Şekil 4.30. ACN Değerine Göre Dolgu Kalınlıklarının Tespiti

Donatı elemanı olarak kullanılacak geogridlerin seçimi için bazı kriterler söz konusudur. Buna göre Tablo 4.5' te taban zemini dayanımına göre seçilecek olan Tensar geogrid donatı tabaka sayısı ve tipi gösterilmiştir. Verilen geogridlerin tümü iki aksta çalışan geogrid olup, kN/m cinsinden çekme dayanımları ile tanımlanırlar. [18]

Geogrid Düzenlemesi		Çoklu Tabaka		Tek Tabaka					
Zemin	CBR (%)	<<1	<1	1	2	3	4	5	>5
Dayanımı	$C_u (kN/m^2)$			25	50	75	100	125	
Geogrid Tini		SS40					SS20		
Geogria Tipi					SS	30			

Tablo 4.5. Taban Zemini Dayanımına Göre Donatı Seçimi

Bu örnek hesapta alt temel tabakası, 2 kat Tensar SS30 geogridi ile donatılmıştır. Kullanılan SS30 geogridi Tensar firmasının delme/uzatma yöntemi ile ürettiği polipropilen esaslı bir malzemedir. Bu geogridin nihai çekme dayanımı 30 kN/m, %2 deformasyondaki çekme dayanımı ise 10,5 kN/m' dir. ağırlığı 300 gr/m² olup, düzlemsel burkulma rijitliği 0,9 Nm/^o (9,0 kgcm/⁰)' dir. SS30 Geogridinin geometrik boyutları Şekil 4.31' de verilmiştir.



Şekil 4.31. SS30 Geogridi Geometrik Boyutları

"Tensar" firmasının geliştirdiği "TensarPave" programı yardımı ile yapılan çözümlerde, alt temel tabakasına yerleştirilen 2 kat SS30 geogrid donatının, tabaka kalınlığında önemli azalmalar sağladığı ortaya konulmuştur. Donatısız halde 1375 mm olan alt temel tabakası kalınlığı, geogrid donatı sayesinde 950 mm' ye kadar düşürülmüştür. Alt temel tabakasının kalınlığında geogrid kullanımı ile sağlanan %30 tasarruf, önemli bir orandır. Geogrid donatıların yaklaşık satış fiyatının 3-4 Euro arasında olduğu düşünülecek olursa, kazı ve/veya dolgu maliyetlerde önemli bir

azalma söz konusu olacaktır. Donatılı ve donatısız hallerin karşılaştırılabilmesi için dolgu kalınlıkları Şekil 4.32' de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.32. Donatılı ve Donatısız Halde Alt Temel Tabakası Kalınlığının Karşılaştırılması [29]

5. TEMEL DONATISI OLARAK KULLANAN GEOGRİDLERLE İLGİLİ DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Teknik açıdan uygun koşullar taşıyan inşaat sahalarının azalması, taşıma gücünün yeterli olmadığı alanların, yerinde ıslah edilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Geosentetik kullanımı ile zemini güçlendirme, bu ıslah yöntemlerinden birisidir. Bu konu ile ilgili birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda, geosentetiklerle donatılan yapıların performansında, geleneksel yöntemler kullanılarak inşaa edilmiş yapılara göre önemli artışlar gözlenmiştir. Geosentetiklerin donatı fonksiyonu ile ilgili yapılan bazı önemli çalışmalar aşağıda anlatılmıştır.

5.1. Alaska Üniversitesinde (Fairbanks) Yapılan Deneysel Çalışma [5]

Bu deneysel çalışma, "Tensar" geogrid ile donatılmış kaplama dolgularının performansını değerlendirmek üzere yapılmıştır. Bu amaçla Tensar firmasının iki aksta çalışan geogridlerinden, BX 1100 ve BX 1200 geogridleri kullanılmıştır. Deneyde, geogridle donatılmış kaplama yapısının performansındaki artışı (Trafik fayda oranı) göstermek ve değerini tayin etmek amaçlanmıştır.

Asfalt beton kaplama üzerinde tek lastik yükünün etkisini göstermek amacı ile oluşturulan deney düzeneği, Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Düzenek; 1,22 m (4 ft) derinliğinde, 2,44 m (8 ft) genişliğinde ve 14,63 m (48 ft) uzunluğundadır. Bu düzeneğe yaklaşık 2 tonluk (4500 lb) yük, 80 psi basınçlı 10 adet lastik vasıtası ile uygulanmıştır. Araç düzeneğin sonuna geldiğinde geriye doğru 907 kg' lık zati ağırlığı ile hareket ettirilmiştir.

Şekil 5.1'de gösterildiği gibi deney düzeneğinde dört bölüm vardır. Bu bölümlerin ikisinde, taban zemini ile temel tabakası arasına yerleştirilmiş BX 1100 (BR 1) ve BX 1200 (BR 2) geogridleri bulunmaktadır. Üçüncü bölümde iki sıra geogrid aynı anda kullanılmıştır. Son bölümde ise kontrol amacı ile herhangi bir donatı yerleştirilmemiştir. Deney düzeneğinde kaplama yapısı; yumuşak kilden oluşan taban zemini üzerine, kalınlığı yaklaşık 15 cm (6 inç) ila 45 cm (18 inç) arasında değişen ve kırma taştan yapılmış temel tabakası hazırlanarak oluşturulmuştur. Temel tabakası üzerinde yaklaşık 5 cm (2 inç) kalınlığında sıcak karışım asfalt bulunmaktadır.



Şekil 5.1. Alaska Üniversitesi'nde Geogrid Donatılı Kaplamalarla İlgili Yapılan Deney İçin Hazırlanan Düzenek

Deney düzeneğinde, taban zemini olarak %22'si kil olan killi silt kullanılmıştır. Taban zemininin kuru birim hacim ağırlığı 16 kN/m³ (102 lb/ft³) olup, su muhtevası %21 olarak tespit edilmiştir. Deney düzeneğinin her bir bölümünün ortasında CBR testi yapılmış ve değerlerin 2,7 ila 1,6 arasında değiştiği, ortalama olarak 1,9 değerinin alınabileceği tespit edilmiştir.

Temel zemini ile taban zemininin dane çapı dağılımı Şekil 5.2'de verilmiştir. Temel zemininin maksimum kuru birim hacim ağırlığı 22 kN/m³ (139 lb/ft³), su muhtevası %7, yerindeki birim hacim ağırlığı 20 kN/m³ (130 lb/ft³) olup, CBR değeri ortalama 15'dir.



Şekil 5.2. Alaska Üniversitesi'nde Geogrid Donatılı Kaplamalarla İlgili Yapılan Deneyde Taban Zemini İle Temel Tabakasının Dane Çapı Dağılımı

Deneyde kullanılan sıcak karışım asfaltın maksimum birim hacim ağırlığı 23 kN/m³ (149 lb/ft³) olup, yerinde bulunan birim hacmi ağırlığı ortalama 22 kN/m³ (140 lb/ft³)'dür. Kaplama yapısının donatılmasında kullanılan geogridlerin teknik özelikleri Tablo 5.1.'de verilmiştir. Tablo 5.1.'deki değerler, ASTM D 4759 standardına göre belirlenen minimum ortalama rulo için verilmiştir. Açıklık boyutları ile kol kalınlığı nominal değerlerdir. Yük kapasitesi kısmındaki değerler ASTM D 6637'ye göre, ilk yüklemede uzamaya karşı gösterilen dirençtir. Düğüm noktası verimliliği, GRI-GG2-87 standartına göre belirlenen bir değer olup, yük iletebilme kapasitesini ifade eder ve nihai çekme dayanımının yüzdesi olarak açıklanır. Eğilme rijitliği, ASTM D-5732-95'e göre belirlen bir değerdir. Toplam eğilme rijitliği ürünün makine ve makineye dik yöndeki eğilme rijitliği değerlerinin kareköküdür. Açıklık stabilite modülü ise çevresi boyunca mesnetlenmiş (23 x 23 cm) boyutlarında bir numunenin kendi düzlemi içerisinde merkezine uygulanan 20 kg-cm' lik momente karşı gösterdiği dirençtir. İnşaa sırasında oluşan hasarlara karşı gösterilen direnç; killi kumlarda (SC), iyi derecelenmiş kumlarda (SW) ve kötü derecelenmiş çakıllarda (GP), yerleştirme esnasında oluşan mekanik gerilmeler altında yük kapasitesi ve yapısal bütünlüğü korumak için gösterilen dirençtir. Son olarak uzun vadede bozunmaya karşı gösterilen direnç, kimyasal etkilere karşı yük kapasitesinin ve yapısal bütünlüğün korunması için gösterilen dirençtir.

		BX	(1100	BX 1200		
Özellik	Birim	Makine	Makineye	Makine	Makineye	
		Yönü	Dik Yön	Yönü	Dik Yön	
İndeks Özellikleri						
Açıklık Boyutları	mm	25	33	25	33	
Minimum Kol Kalınlığı	mm	0,76	0,76	1,27	1,27	
Yük Kapasitesi						
Başlangıç Modülü	kN /m	250	400	400	650	
%2 Deformasyondaki Çekme Davanımı	kN /m	4,1	6,6	6,0	8,6	
%5 Deformasyondaki Çekme Dayanımı	kN /m	8,5	13,4	11,8	19,6	
Yapısal Bütünlük						
Düğüm Noktası Verimliliği	%	93		93		
Eğilme Rijitliği	mg-cm	250		750		
Açıklık Stabilitesi	kg-cm / deg	3,2		6,5		
Durabilite		· · · · · ·	-	-		
İnşaa Sırasında Oluşan	%SC	90		91		
Hasarlara Karşı Gösterilen	%SW	83		91		
Direnç	%GP	70		85		
Uzun Vadede Bozunmaya Karşı Gösterilen Direnç	%	100		100		

Tablo 5.1. Tensar Firmasının BX 1100 Ve BX 1200 Geogridlerinin Karakteristik Özellikleri

Deney düzeneği boyunca yaklaşık 60 cm' lik (2 ft) aralıklarla belli sayıda yükleme tekrarı yapıldıktan sonra yüzey deformasyonu ölçülmüştür. Yük tekrar sayıları yüzey deformasyonunun 1,27 cm (0,5 inç), 1,91 cm (0,75 inç), 2,54 cm (1 inç), 3,18 cm (1,25 inç) ve 3,81 cm (1,5 inç) değerlerine ulaştığı noktalarda tespit edilmiştir. Geogridle donatılan test bölümlerinin yük taşıma kapasitelerindeki artış, trafik fayda oranı ile ifade edilmiştir. Trafik fayda oranı (TFO), aynı yüzey deformasyon değeri için donatılı kesimdeki yük tekrar sayısının normal kesimdeki yük tekrar sayısına oranı olarak ifade edilmektedir. Deney sonuçlarından elde edilen temel tabakası kalınlığı ile TFO arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler 1,91 cm (0,75 inç), 2,54 cm (1 inç) ve 3,18 cm (1,25 inç) yüzey deformasyonları için sırası ile Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Geogrid Donatılı Kaplamalarla İlgili Yapılan Deneyde 1,91 cm Yüzey Deformasyonu İçin Trafik Fayda Oranı İle Temel Tabakası Kalınlığı Arasındaki İlişki



Şekil 5.4. Geogrid Donatılı Kaplamalarla İlgili Yapılan Deneyde 2,54 cm Yüzey Deformasyonu İçin Trafik Fayda Oranı İle Temel Tabakası Kalınlığı Arasındaki İlişki



Şekil 5.5. Geogrid Donatılı Kaplamalarla İlgili Yapılan Deneyde 3,18 cm Yüzey Deformasyonu İçin Trafik Fayda Oranı İle Temel Tabakası Kalınlığı Arasındaki İlişki

Alaska Üniversitesinde yapılan bu deneysel çalışmada kullanılan geogridlerin kaplama yapılarında önemli faydalar sağlayabileceği ortaya konmuştur. Deney sonuçlarından elde edilen grafikler incelenecek olursa Tensar BR1 geogridi için TFO değerinin 2,54 cm' lik yüzey deformasyonu için 2, 3,18 cm' lik yüzey deformasyonu için ise 3 olduğu görülebilir. BR 2 geogridinde ise bu değerlerin BR 1'e göre daha olumlu yönde olduğu tespit edilmiştir.

5.2. U.S. Army Corps of Engineers (USACE)–Vicksburg Tarafından Yapılan Deneysel Çalışma [5]

1990 ve 1991 yıllarında USACE tarafından FAA' nin sponsorluğunda hafif uçaklar için esnek kaplamalarda geogridlerle donatılmış temel tabakaları üzerine araştırmalar yapılmıştır. Webster [5] tarafından yürütülen deneyde 133 kN' luk (30000 lb) tek lastik yükü ile yüklenen donatılı kaplama kesitleri arazide test edilmiştir.

Yapılan bu deneysel çalışmaların sonucunda USACE; taban zemininin CBR değerinin 1,5 ila 5 arasında değiştiği esnek kaplamalarda 3,81 cm (1,5 inç) iz derinliğine (Yüzey deformasyonu) ulaşmak için donatılı kesitlerin 3,5 kat daha fazla trafik yüklerine maruz kalması gerektiğini tespit etmiştir. USACE bu deneysel

çalışmalarda hafif uçaklar için esnek kaplamalarda trafik fayda oranını tespit etmeyi amaçlamıştır.

Bu amaçla yapılan deneysel çalışma Waterways Deney İstasyonunun 4 numaralı hangarında gerçekleştirilmiştir. Hangardaki mevcut zemin yaklaşık 1 m derinliğe kadar kazılmış, etrafı ve tabanı da polietilen tabaka ile ayrılarak deney çalışmaları boyunca kil zeminin kuruması önlenmiştir.

Deney için hazırlanan tesiste 4 trafik şeridi düşünülmüştür. Bu şeritlerden ikisi, şeridin eni boyunca gezinen lastik yüklerinin donatılmış temel tabakası üzerine olan etkilerini değerlendirmek için tasarlanmıştır. Diğer iki şerit ise çeşitli geogridlerin kanalize trafik yükleri altındaki performansını incelemek üzere oluşturulmuştur. Şekil 5.6.'da USACE deneyinde gezinen yükler altında test edilen kesitler, Şekil 5.7' de ise kanalize yükler altında test edilen kesitler gösterilmiştir. Kanalize trafik yükleri altında test edilen kesitler gösterilmiştir. Kanalize trafik yükleri altında test edilen kesitler yaklaşık 5 cm (2 inç) asfalt tabakası, 36 cm (14 inç) temel tabakasından oluşturulmuştur. Taban zemininin CBR değeri %3'tür. Kesitlerde geogridler taban zemini ile temel tabakası arasına yerleştirilmiştir.



Şekil 5.6. USACE Tarafından Esnek Kaplamalarda Hafif Uçaklar İçin Trafik Fayda Oranının Tespiti İçin Yapılan Deneyde Gezinen Yükler Altında Test Edilen Deney Kesiti



Şekil 5.7. USACE Tarafından Esnek Kaplamalarda Hafif Uçaklar İçin Trafik Fayda Oranının Tespiti İçin Yapılan Deneyde Kanalize Yükler Altında Test Edilen Deney Kesiti

Şekil 5.6 ve Şekil 5.7' ye göre oluşturulan deney kesitlerine 133 kN (30000 lb) trafik yükü uygulanmıştır. Deneyde, lastik olarak C-130 uçağının lastiği örnek alınmıştır. Buna göre kullanılan lastiğin eni 45 cm (17,5 inç) ve basıncı 68 psi' dir. Yükleme deney aracının ileri gidişinde ve geri dönüşünde uygulanmıştır.

Deney için hazırlanan tüm kesitlerde taban zemini olarak likit limiti %67,4, plastisite indisi %45,4 olan kil (CH) tabakası kullanılmıştır. Gezici yüklere maruz bırakılan kesitlerden birinde taban zemininin CBR değeri %8, su muhtevasının %25,9 ila %26,3 değerleri için kuru birim hacim ağırlığı 14,51 kN/m³ (92,3 lb/ft³) – 14,7 kN/m³ (93,5 lb/ft³) olarak düzenlenmiştir. Diğer kesitlerde CBR değeri %3, su muhtevasının %30-32'lik değeri için kuru birim hacim ağırlığı 13,52 kN/m³ (86 lb/ft³) – 13,66 kN/m³ (86,9 lb/ft³)' dür.

Kırma kireç taşından yapılan temel tabakasının zemin sınıfı birleşik zemin sınıflandırmasına göre siltli kum (SM)-killi kum (SC) olarak ayarlanmıştır. Temel tabakasının kuru birim hacim ağırlığı 21,54 kN/m³ (137 lb/ft³) – 22,80 kN/m³ (145 lb/ft³); CBR değeri %80'den fazladır.

USACE deneyinde 6 farklı geogrid kullanılmıştır. Bunlardan ikisi Tensar firmasının delme/uzatma yöntemi ile ürettiği polipropilen BR 1 ve BR 2 geogridleridir. Diğer geogridlerden üçü polyester örgülü geogrid olup, PVC ve kauçuk kaplamalı olarak imal edilmişlerdir. Sonuncu geogrid ise delme/uzatma yöntemi ile üretilmiş ve polimer olarak polipropilen kullanılan bir malzemedir. Deneyde kullanılan malzemelerin diğer özellikleri Tablo 5.2' de verilmiştir.

Malzeme	Ağırlığı (gr/m²)	Açıklık Boyutları (cm)	Açıklık Stabilite Modülü (cm-kg/deg)
BR 1	217,0	2,5 x 3,3	4,4
BR 2	305,2	2,5 x 3,3	8,5
Geogrid X	200,1	4,6 x 4,3	3,0
Fortrac 35/20-20	305,2	2,3 x 2,3	2,0
Strata GB-3022	193,3	1,8 x 2,0	3,1
Miragrid 5T	271,3	3,1 x 3,3	2,1

Tablo 5.2. USACE Deneyinde Kullanılan Geogridlerin Özellikleri

Deneyde, her bir test kesiti için belirli yük tekrar sayılarında yüzey deformasyonu ölçümleri yapılmıştır. Şekil 5.8' de kanalize trafik yükleri için hazırlanmış kesitlerdeki, yük tekrar sayısı ile kalıcı yüzey deformasyonunun değeri arasındaki ilişki verilmiştir. Buna göre deneyde kullanılan geogridlerden trafik fayda oranı en yüksek olanın BR 2 geogridi olduğu görülmektedir. Yüzey deformasyonunun 2,54 cm (1 inç) olması halinde trafik fayda oranları BR 1 için 2,7, BR 2 için 4,7 olarak tespit edilirken diğer örnekler için bu değer 0,9 ile 1,6 arasında değişmektedir.

Yapılan araştırmalarda geogridlerin indeks özelliklerinden biri olan açıklık stabilite modülü ile trafik fayda oranları arasında çok iyi bir korelasyon bulunduğu gözlenmiştir. Şekil 5.9' da trafik fayda oranı ile stabilite modülü arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 5.8. USACE Tarafından Esnek Kaplamalarda Hafif Uçaklar İçin Yapılan Deneyde Yük Tekrar Sayısı İle Yüzey Deformasyonu Arasındaki İlişki



Şekil 5.9. USACE Tarafından Esnek Kaplamalarda Hafif Uçaklar İçin Yapılan Deneyde Açıklık Stabilite Modülü İle Trafik Fayda Oranı Arasındaki İlişki

Açıklık stabilite testi, geogridin stabilitesi hakkında bir fikir edinebilmek için yapılan bir deneydir. Geogridin açıklık stabilite modülü, havaalanları kaplamalarının performansında belirleyici bir rol oynar. Burada geogridin CBR değeri 3 ila 8 arasında değişen taban zemini ile kalınlığı 15 cm ila 45 cm arasında değişen temel tabakası arasında yerleştirildiği düşünülür. Bu deneyde çevresi boyunca mesnetlenmiş, yaklaşık 23 cm x 23 cm ölçülerinde bir geogrid numunesinin merkezine bir moment uygulanmaktadır. Deneyde ilk olarak 5 kg-cm' lik artışlarla 25 kg-cm değerine kadar moment yüklemesi yapılır. Daha sonra yine kademe kademe boşaltma yapılır. Bu yükleme – boşaltma işlemi 4 kez tekrarlanarak veriler kaydedilir. Açıklık stabilite modülü de uygulanan momentin, numunedeki dönmeye oranı olarak ifade edilir ve birimi cm-kg/deg' dir.[11]

FAA tarafından bu deneylerin sonuçlarına dayanılarak bir rapor hazırlanmıştır. Bu raporda havaalanlarında malzeme ve uygulama açısından belli şartlar sağlandığında donatısız durumdaki temel tabakası kalınlığının donatılı durumdaki kalınlıkla olan ilişkisi ortaya konulmaktadır. [11]

FAA' nın raporuna göre geogridlerle donatılan temel tabakalarında kullanılacak olan agregaların, temiz ve durabilitesi iyi parçalardan oluşması gerekmektedir. Agrega tabakasının içinde kil, silt ve bitkisel malzeme ile diğer istenmeyen malzemeler bulunmamalıdır. Agrega tabakasının uygun bir şekilde derecelenmesi de önem taşımaktadır. Bu amaçla FAA tarafından uygun görülen değerler, Tablo 5.3' te verilmiştir.

Elek Çapı (mm)	50	37	25	19	4,75	0,60	0,075
Elekten Geçen Kısmın Ağırlıkça %si	100	95-100	70-95	55-85	30-60	12-30	0-8
Hata Payı %	±5	±8	±8	±8	±8	±5	±3

Tablo 5.3. FAA Tarafından İstenilen Derecelenme Değerleri

FAA' ye göre temel tabakasının donatılmasında kullanılacak olan geogrid Tablo 5.4' de verilen özelikleri karşılamalıdır.

Özellik	Test Yöntemi	Birim	Değer
Açıklık	Direk Ölçme	cm	1,9 - 5,7
Açık Alan	USACE CW-02215	%	70 (min)
Kol Kalınlığı	ASTM 1777	cm	0,13 (nom)
Düğüm Noktası Kalınlığı	ASTM 1777	cm	0,41 (nom)
Açıklık Stabilite Modülü (20 cm-kg.'da)	USACE Yöntemi	cm- kg/deg	6,50 (min)
Makine Yönünde Eğilme Rijitliği	ASTM 1388	mg-cm	750000 (min)
Çekme Modülü (Makine Yönü-Makineye Dik Yön)	GRI / GG1-87	kN/m	270 – 438 (min)
Düğüm Noktası Dayanımı	GRI / GG2-87	kN/m	15,8 (min)
Düğüm Noktası Verimliliği	GRI / GG2-87	%	90 (min)

Tablo 5.4. FAA' ye Göre Donatı Olarak Kullanılacak Geogridlerin Karakteristik Özellikleri

FAA tarafından ortaya konulan koşulları sağlayan malzeme ve inşa yöntemleri kullanılması durumunda donatısız durumdaki temel tabakası kalınlığı ile donatılmış temel tabakası kalınlığı arasındaki ilişki Şekil 5.10' da verilmiştir. Şekil 5.10' da verilen kalınlık değerleri temel tabakasının kalınlığına ilaveten yaklaşık 5 cm asfalt yüzey kaplamasını da kapsamaktadır. Buna göre donatısız durumdaki temel tabakası kalınlığının donatılı durumdaki eşdeğeri aynı performansı göstermektedir.



Şekil 5.10. FAA Tarafından Hafif Uçaklar İçin Verilen Donatılı Ve Donatısız Haldeki Temel Tabakası Kalınlığı Arasındaki İlişki

5.3. Waterloo Üniversitesinde Yapılan Deneysel Çalışmalar [5]

Waterloo Üniversitesinde esnek kaplamaların geogridlerle donatılması üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda, donatı etkisinin yanı sıra, donatının yeri ve taban zemininin dayanımı konuları da incelenmiştir. Bu amaçla, donatılı ve donatısız kesitler üzerine tekrarlı yükler uygulanmıştır. Kesitlerde granüler tabaka kalınlığı, taban zemininin dayanımı ve donatının yeri birbirlerinden farklı olarak hazırlanmıştır. Tüm kesitlerde asfalt yüzey kaplamanın kalınlığı 75 mm ile 100 mm arasında değişmektedir.

Waterloo deneylerinde deney düzeneği 4,5 m boyunda, 1,8 m eninde ve 0,9 m derinliğinde dikdörtgen bir kutu olarak hazırlanmıştır. 19 mm kalınlığındaki suntalarla yapılmış olan düzenek; çelik çubuklarla güçlendirilmiş, duvarları galvanize çelik tabaka ile kaplanmış ve bağlantı noktaları nem tutabilmek için silikonla kaplanmıştır. Şekil 5.11' de deney düzeneği şematik olarak verilmiştir.



Şekil 5.11. Waterloo Üniversitesinde Esnek Kaplamaların Geogridlerle Donatılması Üzerine Yapılan Deneyde Kullanılan Düzenek

Deney için hazırlanan her bir kesit, aynı yük tekrar sayıları için aynı yükleme koşullarına tabi tutulmuştur. Kesitlere bir seri dinamik yüklemenin ardından tekil yükleme yapılmıştır. Bu yükleme şekli, tüm kesitlerde korunmuştur. Deney kesitlerine 300 mm çapındaki bir plakadan 550 kPa basınç yaratan 40 kN' luk bir yük uygulanmıştır. Yapılan yüklemenin şiddeti ve şekli 80 kN' luk eşdeğer tek lastik yükünün etkisi ile aynı olacak şekilde ayarlanmıştır. Dinamik yüklemeler, 8 Hz' lik sinüzoidal bir frekansla yapılmıştır.

Deneyde taban zemini için birleşik zemin sınıflandırmasında SP sınıfına giren ince daneli plaj kumu seçilmiştir. Bu malzemenin taşıma gücü, dane çaplarının üniform olması sebebi ile nem oranına bağlı olarak değiştirebilmektedir. Deneydeki tüm kesitlerde temel tabakası olarak birleşik zemin sınıflandırmasına göre iyi derecelenmiş kırmataş (GW) kullanılmıştır. Taban zemininin yerindeki CBR değerleri 1,2 ve 3. grup deneyler için sırası ile %8,5, %3,5 ve %1 olarak tespit edilmiştir. Temel tabakası için optimum nem oranı %6, maksimum kuru birim hacim ağırlığı 23 kN/m³ olup CBR değerleri 2 ve 3. grup deneylerde sırası ile %18 ve %14'tür.

Deneyde asfalt yüzey kaplaması tüm kesitlerde sabittir. Donatı olarak Tensar BR 1 geogridi kullanılmıştır. Tablo 5.5' de deney grupları ve yapılan testler özetlenmiştir. Tablo 5.5' de gösterildiği gibi her bir deney grubunda belirli değişkenler sabit tutulmuş böylece donatı etkisi daha iyi incelenebilmiştir.

Grup No	Deney No	Asfalt Kalınlığı (cm)	Temel Tabakası Kalınlığı (cm)	Donatının Temel Tabakasındaki Yeri	Taban Zemini CBR	Amaç
	1	10,16	20,32	Yok	8,0	
	2	10,16	20,32	Altta	8,0	Donatı Yerinin
I	3	10,16	20,32	Ortada	8,0	Etkisi
	4	10,16	20,32	Üstte	8,0	
	1	7,62	20,32	Yok	3,5	Temel Tabakası
	2	7,62	20,32	Altta	3,5	Kalınlığının Etkisi
2	3	7,62	15,24	Altta	3,5 Do	Donatisiz Hallerin
	4	7,62	10,16	Altta	3,5	Karşılaştırması
	1	7,62	15,24	Altta	1,0	
3	2	7,62	20,32	Altta	1,0	Çok zayıf taban zemini durumu ve
	3	7,62	20,32	Yok	1,0	temel tabakası
	4	7,62	30,48	Yok	1,0	Kanninginin Cikisi

Tablo 5.5. Waterloo Üniversitesi Deneyi Grupları

Birinci grup deneylerde, aynı özelliklerdeki donatılı ve donatısız kesitler ile donatının granüler temel tabakasındaki yerinin kaplama performansına olan etkisi incelenmiştir. 1. grup deney sonuçlarına göre, donatılmış kesitte asfalt yüzey kaplamasının deformasyonlara karşı daha fazla direnç gösterdiği ve kaplamanın ömrünü uzattığı belirlenmiştir. Taban zemininin CBR değerinin %8, temel tabakası kalınlığının 20,32 cm olduğu kesitte 2,03 cm yüzey deformasyonunda trafik fayda oranı 3 olarak tespit edilmiştir. Şekil 5.12' de 1. grup deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.12. Waterloo Üniversitesinde Esnek Kaplamaların Geogridlerle Donatılması Üzerine Yapılan Çalışmalarda Birinci Grup Deney Sonuçları

İkinci grup deneylerde, aynı yükleme koşulları altında donatılı kesitlerde kalınlığın etkisi ve donatısız-donatılı kesitlerin kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu grup deneylerde taban zemini suya doygunlaştırılarak, taşıma gücü azaltılmıştır. Tüm kesitlerde geogrid, granüler tabakanın en altına yerleştirilmiştir. Bu grup deneylerde de birinci grup deneylerle aynı sonuçlara ulaşılmış, taban zemininin CBR değeri %3,5 iken temel tabakasının kalınlığı 15,24 cm olan kesitte trafik fayda oranı 2,5, 20,32 cm olduğu kesitte ise 3 olarak bulunmuştur. Bunlara ilaveten sadece 10,16 cm kalınlığında bir temele sahip donatılı kesitte trafik fayda oranı 1,1 olarak tespit edilmiştir.

Üçüncü grup deneylerde ise taban zemininin çok zayıf olduğu durum incelenmiştir. Bu amaçla CBR değeri %1 olan bir taban oluşturulmuş ve zayıf bir tasarım yapıldığından göçme kriteri yüzey deformasyonunun 3,81 cm olmasına göre belirlenmiştir. Bu durumda trafik fayda oranı 3 olarak belirlenmiştir.

5.4. Arazide Geosentetikle Donatılmış Esnek Kaplama Deneyi [26]

Cancelli (1999) tarafından yapılan bu deneyde, arazide bir model oluşturulmuştur. Deneyde; taban zemini dayanımı, agrega temel tabakası kalınlığı, geosentetik tipi ve değişik eşdeğer aks yüklemelerinin donatılı ve donatısız kesitlerdeki etkileri incelenmiştir. Analiz sonuçlarında; donatılı ve donatısız kesitler, değişik kalınlıklardaki donatılı kesitler, değişik CBR değerlerine sahip donatılı kesitler ve değişik tipte geosentetikler birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Bu amaçla, 4 m genişliğinde ve 210 m uzunluğunda bir yol inşaa edilmiştir. Şekil 5.13' te şematik olarak gösterilmiş olan yolun düz kısımları 36 m ve 20 m, virajlı kısımları ise 17 m olup, virajlı kesimlerin dış kenarları hafif yükseltilmiştir. Yolun düz kısımlarında 4 m genişliğinde ve 1,2 m derinliğinde bir çukur açılarak etrafi geçirimsiz membran ile kaplanmış, bu sayede zeminin nem oranının korunması amaçlanmıştır. Daha sonra açılan bu çukurların yaklaşık yarı derinliğine kadar siltli kil yerleştirilmiştir. 70 cm derinliğindeki taban zemininin CBR değeri %1, %3 ve %8 olarak ayarlanmıştır. Taban zeminindeki ince daneli zemin (200 numaralı elek) oranı %60 olup, likit limiti %31, plastisite indeksi ise %11'dir.



Şekil 5.13. Arazide Geosentetikle Donatılmış Esnek Kaplama Deneyi İçin Hazırlanan Yol Planı (Cancelli, 1999)

Esnek kaplamada kullanılacak donatılar, 70 cm kalınlığındaki kil tabakasından sonra yerleştirilmiştir. Bu koşullarla, taban zemini dayanımı ve temel kalınlıkları farklı

olan 56 değişik kesit elde edilmiştir. Donatıların üzerine dolgu olarak, iyi derecelenmiş ve sıkıştırılmış çakıl tabakası kullanılmıştır. Agrega tabakası kalınlığı kesit tipine göre 30 cm ile 50 cm arasında değişmektedir. Tüm kesitlerde yüzey kaplaması olarak 75 mm kalınlığında asfalt beton uygulanmıştır. (Şekil 5.14)



Şekil 5.14. Arazide Geosentetikle Donatılmış Esnek Kaplama Deneyi İçin Hazırlanan Yol Kesiti (Cancelli, 1999)

Model araç, eşdeğer aks yükü (EAY) ile hazırlanan yolda saat yönünde hareket ettirilmiştir. Aracın yol üzerinde belli bir ekseni takip etmesi sağlanarak kanalize trafik etkisi elde edilmeye çalışılmıştır. Model araç arkada çift lastikli akstan 90 kN, önden tek lastikli akstan 45 kN uygulayacak sekilde tasarlanmıştır. Bu sayede her bir lastik 22,5 kN' luk eşdeğer yüke sahip olmuştur. Araçtaki tüm lastiklere 800 kPa (116 psi) basınç verilmiştir. Araç, yol üzerinde 20 km/h sabit hızla hareket ettirilerek, bir turu 1 dakikada tamamlaması sağlanmıştır. Modelde 90 kN arka aks yükü, eşdeğer aks yükünün (80 kN) 1,61 katıdır. Önde ise, tek lastikten gelen 45 kN, çift lastikten gelen 90 kN' a eşit olduğundan 1,61 katsayısı uygundur. Deneyde kanalize trafik incelendiğinden, yükün yolun tüm enini 3 turda bir kullandığı kabulü modeldeki değerleri yapılmaktadır. Buna göre normale cevirmek icin (1,61+1,61)x3=9,66≅10 katsayısı kullanılacaktır. Deneyde kullanılan 5 farklı kategorideki geosentetiklerin bazı mukavemet özellikleri Tablo 5.6' da verilmiştir. Bu kategoriler; iki aksta çalışan tek tabaka polipropilen geogrid (a), iki aksta çalışan çok tabakalı polipropilen geogrid (b), örgülü polyester geogrid (c), film örgülü geotekstil (d) ve kompozit yapılar (e) olarak sıralanmaktadır.
	Kategori- Tabaka Sayısı	MYxDY	MYxDY MYxDY		MYxDY	
Ürün Kodu		Çekme Dayanımı (kN/m)	Çekme Dayanımı (kN/m) %2 Uzamada	Düğüm Noktası Dayanımı (kN/m)	Açıklık Boyutları (mm)	
GGML2	b-2	13,5 x 20,5	4,1 x 6,0	12,2 x 18,5	21 x 25	
GGML3	b-3	20,0 x 30,7	6,1 x 9,0	18,0 x 27,7	14 x 17	
GGML5	b-5	22,0 x 35,0	6,0 x 10,0	19,8 x 31,5	12 x 12	
GGR1	a-1	12,1 x 20,5	4,0 x 5,8	10,9 x 18,4	25 x 33	
GGR2	a-1	17,0 x 31,5	5,4 x 8,7	15,3 x 28,3	25 x 33	
WGTX	d-1	30,0 x 30,0	4,0 x 5,0	-	-	

Tablo 5.6. Arazide Geosentetikle Donatılmış Esnek Kaplama Deneyinde Kullanılan Bazı Geosentetiklerin Mukavemet Özellikleri

(MY : Makine Yönü DY : Makineye Dik Yön)

Deneyin sonucunda kaplama yüzeylerinde oluşan deformasyonlar; yük tekrar katsayıları, agrega kalınlığı, taban zemini kayma dayanımı ve geosentetik tipinin fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Yüzey deformasyonu, belirli sayıda yük tekrarları için Şekil 5.14' te gösterilen geosentetiğe bağlanmış deformasyon ölçerler ile tespit edilmiştir. Maksimum yüzey deformasyonu, belli sayıdaki yük tekrarı için yol kesitindeki maksimum yükseklikteki nokta ile minimum yükseklikteki nokta arasındaki fark olarak ifade edilmektedir. (Şekil 5.15)



Şekil 5.15. Arazide Geosentetikle Donatılmış Esnek Kaplama Deneyinde Yüzey Deformasyonunun Tespiti (Cancelli, 1999)

Deneyde kontrol amacı ile donatı kullanılmamış kesitlerden 9 numaralı kesitte, 50 kez yükleme yapıldığında 25 mm yüzey deformasyonu aşılmıştır. Yük tekrar sayısı 500'e ulaştığında ise maksimum yüzey deformasyonu değeri 142 mm olmuştur. CBR değeri 3, temel tabakası kalınlığı 300 mm olan bu kesitin modeldeki 100 ve 300 yük tekrarından (Gerçek boyutlarda 1000 ve 3000 tekrar) sonraki görünüşü Şekil 5.16' da verilmiştir.



YÜK TEKRAR SAYISI : 100



YÜK TEKRAR SAYISI : 300

Şekil 5.16. Arazide Geosentetikle Donatılmış Esnek Kaplama Deneyinde 9 Numaralı Kesitin Görünüşü (Cancelli, 1999) Cancelli (1999) tarafından arazide esnek kaplamaların donatılması üzerine yapılan bu deneyden elde edilen sonuçlar Tablo 5.7' de verilmiştir.

			Eşdeğer Aks Yükü (80 kN) Tekrar Sayısı									
Test	Ürün Kodu	CBR	Temel	0	500	1000	3000	5000	10000	20000	40000	80000
Kesiti		%	mm	Maksimum Yüzey Deformasyonu, mm								
24e	GGML5	1	500	0,0	-	1,8	1,9	2,4	2,7	4,4	6,8	10,6
25e	GGR2	1	500	0,0	-	3,9	4,1	5,0	6,3	8,1	10,5	16,0
25i	GGML3	1	500	0,0	-	2,3	2,6	3,2	5,0	6,2	8,5	11,6
27e	GGR1	1	500	0,0	-	9,9	11,3	11,4	15,7	16,8	19,8	24,9
27i	GGML2	1	500	0,0	-	10,2	12,8	13,2	15,4	16,5	18,2	21,0
28e	Kontrol	1	1000	0,0	-	5,1	5,4	5,8	7,2	8,1	9,7	12,4
5i	GGML5	3	300	0,0	-	8,2	9,8	11,7	12,2	13,1	14,9	16,7
8e	GGR1	3	300	0,0	-	9,5	11,8	12,5	14,9	17,2	18,4	19,6
8i	GGML2	3	300	0,0	-	6,7	8,1	8,8	10,2	11,3	12,6	14,3
9e	Kontrol	3	300	0,0	26,5	44,4	90,5	142,0	-	-	-	-
15e	GGML5	3	400	0,0	-	1,3	1,3	1,4	2,4	2,7	3,0	3,3
20e	WGTX	3	400	0,0	-	4,5	5,3	5,8	6,2	6,9	7,9	10,0
21e	GGR2	3	400	0,0	-	1,9	2,0	2,4	2,6	3,3	4,0	5,4
21i	GGML3	3	400	0,0	-	1,2	1,6	2,0	2,3	2,8	3,7	5,4
22e	GGR1	3	400	0,0	-	1,6	2,6	2,9	4,0	3,8	5,3	6,6
22i	GGML2	3	400	0,0	-	2,3	3,1	3,3	4,2	4,8	5,5	6,8
23i	Kontrol	3	400	0,0	13,8	15,7	18,3	19,4	20,3	21,5	23,2	25,0
1e	Kontrol	3	500	0,0	7,2	7,9	8,1	10,4	12,6	12,6	13,7	15,0
li	GGML5	3	500	0,0	-	4,3	4,6	5,5	7,2	8,8	10,3	11,3
2e	GGR1	3	500	0,0	-	5,6	7,0	8,3	10,4	10,9	11,6	12,7
2i	GGML2	3	500	0,0	-	4,0	4,7	5,4	6,1	8,0	8,9	11,3
11i	Kontrol	8	300	0,0	2,1	2,9	3,7	3,4	4,5	4,7	6,3	7,6
12e	GGR1	8	300	0,0	-	1,6	2,7	2,8	3,4	3,9	5,4	7,3
12i	GGML2	8	300	0,0	-	2,0	2,6	3,2	4,3	5,1	5,8	6,8

Tablo 5.7. Arazide Geosentetikle Donatılmış Esnek Kaplama Deneyi Sonuçları

Bu veriler ışığında deneyde ulaşılan başlıca sonuçlar aşağıda anlatılmıştır:

- a. Belli bir yüzey deformasyonu için; geogrid donatılı temeller, daha kalın donatısız temellerle aynı performansı göstermiştir.(Şekil 5.17 ve Şekil 5.18)
- b. Çok tabakalı geogridlerden GGML2, açıklık boyutları agrega ve taban zeminine uygunluğu sayesinde iyi sonuçlar vermiştir. Çok tabakalı geogridler, tek tabakalı geogridlere göre daha düşük deformasyonlarda daha iyi performans göstermektedir.



Şekil 5.17. Yüzey Deformasyonu ile Yük Tekrar Sayısı Arasındaki İlişki (Temel Kalınlığı =300 mm, CBR=3) (Cancelli,1999)



Şekil 5.18. Yüzey Deformasyonu ile Yük Tekrar Sayısı Arasındaki İlişki (Temel Kalınlığı =500 mm, CBR=3) (Cancelli,1999)

c. Çok tabakalı geogridler, CBR değeri 3 ve 3'ten küçük olan taban zeminlerinde en iyi sonucu vermektedir.(Şekil 5.19-Şekil 5.17)



Şekil 5.19. Yüzey Deformasyonu ile Yük Tekrar Sayısı Arasındaki İlişki (Temel Kalınlığı =500 mm, CBR=1) (Cancelli,1999)

- d. Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Şekil 5.18 karşılaştırılacak olursa, CBR değerinin 3 ve 3'ten küçük olduğu durumlarda çekme dayanımları yüksek olan geogridlerin daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Tek tabaka geogridlerin performansları arasında önemli bir fark gözlenmemiştir.
- e. Tüm geosentetik tiplerinde, CBR değeri düştükçe, donatılı kesitlerdeki yüzey deformasyonu ile donatısız kesitlerdeki yüzey deformasyonu arasındaki fark artmaktadır. (Şekil 5.19-Şekil 5.21)
- f. Kaplamanın hizmet ömrü için kullanılacak trafik fayda oranı, izin verilebilen yüzey deformasyonu değeri arttıkça ve CBR değeri düştükçe artar. Pek çok zeminde ve geogrid tipinde 5 ile 10 mm arasındaki yüzey deformasyonları için trafik fayda oranı 10 olarak düşünülebilir.



Şekil 5.20. Yüzey Deformasyonu ile Yük Tekrar Sayısı Arasındaki İlişki (Temel Kalınlığı =400 mm, CBR=3) (Cancelli,1999)



Şekil 5.21. Yüzey Deformasyonu ile Yük Tekrar Sayısı Arasındaki İlişki (Temel Kalınlığı =300 mm, CBR=8) (Cancelli,1999)

- g. Örgülü geotekstiller, ayırma fonksiyonunda iyi olmasına karşın donatı fonksiyonunda geogridlere göre oldukça zayıf kalmaktadırlar. Geotekstil donatılı bir kesit 5 mm yüzey deformasyonuna 2000 eşdeğer aks yükü tekrarından sonra ulaşırken, geogridlerde bu rakam 80000'lere varmaktadır. Bu da 40 kat daha iyi performans demektir.
- h. Taban zemini ile agrega tabakası arasına yerleştirilen geogridler, kaplamanın hizmet ömrünü uzatabilmektedir. Geogridler, donatılı kaplama kesitlerinde yerel kesme göçmesini önleyerek deformasyonları azaltırlar. Deneyde, geogridde meydana gelen deformasyon miktarı, minimum gerilmeye işaret etmektedir. Bu da göçme modunun uygun bir geogrid donatı kullanılması halinde, sadece yorgunluğa bağlı olacağını göstermektedir. (Şekil 5.22)
- i. Çekme dayanımları 350 kN/m olan iki aksta çalışan geogridlerde oluşan elastik deformasyonlar model aracın ön ve arka lastik yükleri altında ölçülmüştür. Yapılan bu ölçümlere göre deformasyonlar, lastik yükünün düşey hizasında en yüksek değeri almaktadır. Ölçüm yapılan kesitlerin çoğunluğunda bu elastik deformasyonların %0,2'den küçük olduğu ortaya konulmuştur. Elastik deformasyonlar, agrega temel kalınlığı ve CBR değerinin düşük olduğu kesitlerde daha büyük olmaktadır. (Şekil 5.22)



Şekil 5.22. Geogrid Kollarında 8000 Yük Tekrarından Sonra Ön (Solda) ve Arka (Sağda) Lastik Hizasında Oluşan Çekme Deformasyonu (Cancelli,1999)

5.5. Geotekstil ve Geogrid Kullanılarak Donatılmış Dolguların Karşılaştırması [23]

Vito ve Diğerleri (1986) tarafından yapılan bu deneyde, geogrid ve geotekstil donatılı dolguların taşıma kapasitesini karşılaştırmak amacı ile bir laboratuvar modeli hazırlanmıştır. Deneyde; donatının derinliği, donatı tabakalarının birbiri ile olan düşey aralığı, donatı tabakası sayısı ve donatının çekme dayanımı göz önüne alınan parametrelerden bazılarıdır.

Deney için Şekil 5.23'te şematik olarak gösterilen, 1,22 m genişliğinde ve 0,92 m derinliğinde bir model hazırlanmıştır. Bu modele, 70 kez plaka yüklemesi yapılmıştır. Bu deneylerden 40 tanesinde geogridler, 30 tanesinde ise geotekstiller incelenmiştir. Deney için, "Tensar" ın iki aksta çalışan BR 1 geogridi ve "Du Pont" firmasının "Typar 3401" geotekstili kullanılmıştır. Typar 3401 geotekstili, 0,38 mm kalınlığında ve 0,67 kN çekme dayanımı olan polipropilenden yapılmış örgüsüz bir geotekstildir.



Şekil 5.23. Geogrid ve Geotekstil Donatılarını Karşılaştırmak İçin Yapılan Deneyde Kullanılan Düzenek (Vito,1986)

Deney için hazırlanan modelde, donatı tabakaları arasında kullanılan üniform derecelenmiş kumun (SP) efektif dane çapı (D₁₀) 0,086 mm, özgül ağırlığı 2,66, üniformluluk katsayısı 1,90, minimum kuru birim hacim ağırlığı 13,10 kN/m³, maksimum kuru birim hacim ağırlığı 15,65 kN/m³, kuru birim hacim ağırlığı 14,39 kN/m³, relatif sıkılığı (D_R) %55 ve içsel sürtünme açısı 37⁰'dir.

Deneyde; ilk tabaka donatının derinliği (u), donatı tabakaları arasındaki düşey aralık donatı tabakalarının sayısı (N), donatı tabakası sayısı, donatı genişliği (b) ve donatının çekme dayanımı üzerine araştırmalar yapılmıştır. Donatısız kum zeminin s=21,3 mm oturmasına (s/B=0,07) karşılık gelen nihai taşıma basıncı, q₀, 93,7 kPa' dır. Deney sonuçları taşıma kapasitesi oranı (TKO) ile verilmektedir. Taşıma kapasitesi oranı, donatılı haldeki nihai taşıma basıncının (q_r), donatısız haldeki nihai taşıma basıncına (q₀) orandır.

İlk tabaka donatının temele olan uzaklığı, u, temel genişliği, B olmak üzere u/B boyutsuz değeri ile ifade edilmektedir. TKO değeri belli bir kritik noktaya ulaşana kadar artar. Bu nokta u/B değerinin 1'e eşit olduğu noktadır. Bu noktadan sonra TKO sabit kalmaktadır. Deneydeki geotekstil numunenin TKO değeri geogridin değerine göre %5-10 düşük kalmıştır. Şekil 5.24' te en üst tabaka donatının TKO ile arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 5.24. Geogrid ve Geotekstil Donatılarını Karşılaştırmak İçin Yapılan Deneyde Taşıma Kapasitesi Oranı İle Donatı Derinliği Arasındaki İlişki (Vito,1986)

Deneyde $\Delta z/B$ oranı ile ifade edilen donatı tabakaları arasındaki düşey mesafe, belli bir kritik değere gelene kadar arttıkça TKO değerinin arttığı ortaya konmuştur. Buna göre donatının yoğunluğu artıkça ($\Delta z/B$ oranı azaldıkça) TKO oranı artmaktadır. Deneyde kullanılan geogrid ve geotekstil numuneleri birbiri ile benzer performans göstermiş, ancak geotekstilin performansı geogride göre %10 daha düşük olmuştur. Şekil 5.25'te bu ilişki ortaya konmaktadır.



Şekil 5.25. Geogrid ve Geotekstil Donatılarını Karşılaştırmak İçin Yapılan Deneyde Taşıma Kapasitesi Oranı İle Donatı Tabakaları Arası Düşey Mesafe Arasındaki İlişki (Vito,1986)

Şekil 5.26' da geotekstil ve geogrid donatıları tabaka sayısının (N), TKO ile olan ilişkisi gösterilmiştir. Her iki numunede de tabaka sayısı arttıkça TKO değeri de artmıştır. Ancak tabaka sayısı 3'ü geçtikten sonra donatının faydası azalmıştır. Tabaka sayısı arttıkça, geogridli durumda TKO değeri geotekstilli duruma göre daha hızlı bir artış göstermiştir. N=2 durumunda geogrid donatının TKO değeri geotekstilden %10 daha fazlayken, N≥3 durumunda aradaki fark %3'ten azdır. Geogridler, geotekstillerden daha rijit olduklarından, başlangıçta geogrid donatılı zemin daha yoğundur. Ancak tabaka sayısının artışı ile beraber, tüm sistem donatı açısından yoğun bir hal aldığından donatı rijitliği daha önemsiz bir hal almaktadır. Bu sebepten, donatı tabakalarının sayısı arttıkça, her iki numunenin TKO değerleri birbirine yaklaşmaktadır.



Şekil 5.26. Geogrid ve Geotekstil Donatılarını Karşılaştırmak İçin Yapılan Deneyde Taşıma Kapasitesi Oranı İle Donatı Tabakaları Sayısı Arasındaki İlişki (Vito,1986)

Yapılan bu deneysel çalışmaların sonucunda geosentetik donatıların zeminlerin taşıma gücünü arttırdığı ortaya konulmuştur. Geotekstillerde zemin ile arasında oluşan sürtünmenin, geogridlerde ise kenetlenme mekanizmasının donatı fonksiyonunda önem taşıdığı sonucuna varılmıştır. Zeminlerin donatılmasında, sadece donatı amaçlı üretilen geogridlerin, geotekstillere göre daha iyi bir form olduğu belirtilmiştir. [27]

6. GEOGRİDLERİN TEMEL DONATISI OLARAK KULLANILDIĞI HAVAALANLARINDAN BİR ÖRNEK

Güney Kore'nin başkenti Seul' ün 52 km batısındaki Yong-jong adasında inşaa edilen Inchon uluslararası hava alanında, pist ve diğer bölgelerdeki dolgu tabakaları geogrid kullanılarak donatılmıştır. Şekil 6.1' de, hava alanının Ekim 1993 ve Mayıs 1997' deki görünüşü verilmiştir.[28]



EKİM 1993



MAYIS 1997

Şekil 6.1. Inchon Uluslararası Hava alanının Havadan Görünüşü

Hava alanı, Yongjong ve Yongyu adında iki küçük adanın birleştirilmesi ile 5610 hektar bir alan üzerine inşaa edilmiştir. İnşaa alanında, ortalama derinliği 5 m olan normal veya biraz aşırı konsolide olmuş yumuşak zemin bulunmaktadır. Hava alanında, pistlerin altına pek çok kutu menfez inşaa edilmek zorunda olduğundan, menfezlere komşu bölgelerde ve diğer alt yapı tesislerinde farklı oturmalar da göz önünde bulundurulmuştur. Beton kaplamaların çekme çatlaklarına karşı dirençleri zayıftır. Ayrıca hava alanının oldukça kalın bir dolgu üzerine inşaa edilmesi sebebi ile, kompaksiyon işlemi sırasındaki özellikle menfezlerin etrafındaki zorluklar da dikkate alınmıştır. Havaalanlarında, pist ve taksi yolları gibi küçük alanlara büyük yüklerin geldiği kaplamaların temellerinde, çekme dayanımı yüksek bir malzeme olan geosentetikler kullanılarak yük dağıtımı iyileştirilebilmektedir. Bu amaçla Inchon hava alanında, aynı anda hem çekme membranı hem de yatay mesnetlenme etkisi gösterebilen geogridler kullanılarak, kesme ve çekme kuvvetlerine karşı bir direnç sağlanmıştır. Hava alanında pistlerin altındaki temel tabakasında tek tabaka, diğer dolgu alanlarında iki tabaka geogrid kullanılmıştır. (Şekil 6.2)



Şekil 6.2. Inchon Uluslararası Hava alanında Dolgu Ve Temel Tabakası Kesiti

Dolgu ve temel kesitlerinde beton plağın altında sırası ile, çimento kürü yapılmış alt temel tabakası ve %100 ile %95 oranında sıkıştırılmış iki tabaka alt temel bulunmaktadır. Şekil 6.2' de görüldüğü gibi toplam kalınlık; dolgularda 1,80 m (0,6+0,5+0,7), temellerde ise 1,60 m (0,6+0,5+0,5) olmaktadır.

Donatı elemanı olarak "Tenax" firmasının polipropilenden yapılmış "LBO 440 SAMP" geogridi kullanılmıştır. Geogridin özel üretim yöntemi (Delme/uzatma yöntemi) sayesinde yüksek kompaksiyonda bile mekanik özelliklerinin korunması beklenmiştir. Şekil 6.3' te geogridlerin yerleştirme işlemi, Şekil 6.4' te ise kompaksiyon işlemi gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Inchon Uluslararası Hava alanında Geogrid Tabakasının Yerleştirilmesi

Geogrid donatı, bulunduğu konum itibarı ile hizmet süresi boyunca kimyasal ve biyolojik etkilere maruz kalacaktır. Geogridin imal edildiği polipropilen, kimyasal ve biyolojik etkilere karşı en dayanıklı malzeme olduğundan uygun bir seçimdir. Geogridin bir diğer önemli özelliği de eğilme dayanımıdır. Eğilme dayanımı özellikle yükün, rijitlikleri farklı tabakalara dağıtılmasında önemlidir. Bu amaçla, Tablo 6.1' de kullanılan geogridin karakteristik özellikleri verilmiştir. Bu özelliklerden birim alan ağırlığı ISO-9864 standartına göre, diğer özellikler GRI-GG1' e göre verilmiştir.



Şekil 6.4. Inchon Hava alanında Geogrid, Temel Dolgusu ve Yüzey Kaplaması

Teknik Özellikler	Birim	Makine Yönü	Makineye Dik Yön	
Ağırlık	g/m ²	650		
Açıklık Boyutları	mm	34	27	
%2 Deformasyondaki Çekme Dayanımı	kN/m	14,0	15,0	
%5 Deformasyondaki Çekme Dayanımı	kN/m	28,0	30,0	
Maksimum Çekme Dayanımı	kN/m	40,0	40,0	
Göçmedeki Uzaması	%	11,0	11,0	

Tablo 6.1. Inchon Hava alanında Kullanılan Geogridin Karakteristik Özellikleri

Geogridin kimyasal ve biyolojik etkiler sonucu ortaya çıkacak kalıcı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Zemin, doğrudan geogridin üzerine serildiğinden agregalar zımbalama ve delme etkisi gösterebilirler. Özellikle bu projede çimento kürü yapıldığından, geogridin bu etkiler altındaki çekme dayanımı kaybının tespiti için Inchon Üniversitesi' nde deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin sonucunda %1,16 ile %1,90 arasında bir kayıp olacağı görülmüştür. Bu da geogridin çekme dayanımında bir kayıp olsa bile gerekli kriterleri karşılayabildiğini göstermektedir. (Şekil 6.5) Polipropilen esaslı geosentetik malzemeler, ortamın asitlik bazlık derecesini gösteren ph değerinin 2' ye eşit ve büyük olduğu durumlarda herhangi bir problem yaşanmaksızın kullanılabilmektedir. Inchon hava alanı yapımında geosentetiğin çimento küründen sonraki çekme dayanımını görmek için de deney yapılmıştır. Şekil 6.5' te bu deneyin sonuçları verilmiştir. Buna göre geogridin çekme dayanımında düşük bir azalma tespit edilmiştir.[28]



Şekil 6.5. Inchon Uluslararası Hava alanında Geogridin Yerleştirme Hasarlarına (Geogrid Sınıfı :30 kN) Ve Kimyasal Etkilere (Geogrid Sınıfı :40 kN) Bağlı Olarak Çekme Dayanımının Tespiti

Geosentetik ve plastik endüstrisinde yapılan deneysel çalışmaların ışığında, sentetik polimerlerin organizmalara karşı dayanıklı olduğu görülmüştür. Ayrıca bu projede kullanılacak geogrid, organizmalardan arındırılmış granüler zemin tabakasında bulunacağından biyolojik etkilerin az olacağı söylenebilir. [28]

Son olarak geogridin düğüm noktası dayanımı üzerine deney yapılmıştır. Bu deneyin sonucunda geogridin makine yönündeki düğüm noktası dayanımının maksimum değerin en az %90'ı olduğu görülmüştür. Bu deneyler yardımı ile geogridin uzun vadedeki çekme dayanımının tespiti için gerekli azaltma katsayıları da belirlenmiştir. Buna göre,

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{R_s x R_y x R_k x R_b x R_d}$$
(6.1)

 T_{all} : İzin verilebilen çekme dayanımı T_u

T_{ult} : Nihai çekme dayanımı

R _s : Sünme için katsayı	Ry : Yerleştirme hasarları için katsayı
R _k : Kimyasal bozunma için katsayı	R _b : Biyolojik bozunma için katsayı

R_d : Düğüm noktası dayanımı için katsayı

formülü ile hesaplanabilir. GRI-GG4 standartına göre yapılan deneylerin sonucunda azaltma katsayıları sünme için 3,50, yerleştirme hasarları için 1,02, kimyasal bozunma için 1,00, biyolojik bozunma için 1,00 ve düğüm noktası dayanımı için makine yönünde 1,10 bulunmuştur. Bu katsayıları göre tasarım için çekme dayanımı 10 kN/m olarak tespit edilmiştir. [28]

Dolgu ve temel tabakasının analizinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılırken sistemi tanımlamak için çeşitli kabuller yapılmıştır. Buna göre,

- a. Uzun şerit şeklindeki yapıların stabilitesinin değerlendirilmesinde düzlemdeformasyon analizi yapılır. Bu analiz yöntemine göre de tipik bir kesitin yarısı için yapılan hesaplamalar gerçek durumu temsil etmektedir.
- b. Sonlu elemanlar yöntemi için kullanılan "PLAXİS" programında, kaplama ve diğer zemin tabalarındaki her bir zemin elemanı 6 noktalı üçgen elemanlar olarak tanımlanmıştır.
- c. Geogridler 3 noktalı çekme elemanı olarak tanımlanmıştır. Geogridle zemin arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için özel ara yüzeyli geogridler tanımlanmıştır. Bunun için geogridler üzerinde yapılan kesme ve sıyırma deneylerinin sonuçlarından faydalanılmıştır.
- d. Stabilize edilmiş zeminin davranışı, Mohr-Coulomb yasasına göre, beton kaplamanın mekanik davranışı ise basit bir lineer elastik modele göre tanımlanmıştır.

Yapılan bu kabullere göre dolgu ve temel tabakalarına iki sıra geogrid donatı yerleştirilmiş ve bu kesitlere iniş takımlarından 70 tonluk bir yük uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre dolgu ve temel kesitlerinde oluşacak yüzey deformasyonlarının 3 mm' den az olacağı tespit edilmiştir. Ancak menfezlere komşu bölgelerde deformasyonların daha büyük olacağı da görülmüştür.

Inchon hava alanının geosentetikler ile tasarımında Cancelli ve diğerleri (2000) tarafından aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- a. Kullanılacak geosentetiğin seçiminde pek çok konu göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlardan en önemlileri; geosentetiğin tipi, üretiminde kullanılan polimeri ve yapısıdır. Bu projede kullanılan geosentetik tipi geogridlerdir. Polipropilen kullanılarak üretilen "Tenax" ın "LBO 440" geogridi, delme/uzatma yöntemi kullanılarak üretildiğinden yapı itibarı ile düzlemsel bir geogrid olup, iki aksta çekme kuvvetlerini karşılayabilmektedir.
- b. Geosentetiğin tasarımda kullanılacak dayanımı, ilgili projede söz konusu olabilecek tüm güvenlik katsayıları dikkate alınarak tespit edilmelidir.
- c. Bazı özel hallerde, geosentetiğin dayanımı deneyler ile tespit edilmelidir.
- d. Havaalanlarında delme/uzatma yöntemi ile üretilmiş polipropilen geogridler gerek çevre koşullarına dayanıklı olmaları gerekse yüksek kompaksiyondan etkilenmemeleri sebebi ile tercih edilmelidir.
- e. Sonlu elemanlar yöntemi ile boyutlandırılan donatılı kaplamaların davranışı hakkında özellikle oturmanın önemli olduğu projelerde iyi bir fikir edinmek mümkündür.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, hava alanı pistlerinde temel dolgusunun geosentetikler ile donatılması incelenmiştir.

Geosentetikler; inşaatlarda zemin, kaya ve benzeri malzemeler ile birlikte kullanılan düzlemsel ürünler olarak tanımlanmaktadır. Geosentetikler; çevre koşullarına dayanıklı olmaları, hızla inşaa edilebilmeleri ve geleneksel malzemelere göre tasarım kolaylıkları sağlamaları sebebi ile yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Geosentetiklerin bu alanlarda üstlendiği görevler ayırma, filtrasyon, drenaj, koruma, yalıtım ve donatı olmak üzere altı sınıfa ayrılmaktadır.

Bu çalışmanın temel konusu olan donatı fonksiyonu, zeminin geosentetikler gibi çekme dayanımı olan bir malzeme ile güçlendirilmesidir. Bu amaçla kullanabilen geosentetikler ise, geotekstiller ve geogridlerdir. Geotekstiller, sentetik liflerin örülerek ya da özel makinelerde işlenip preslenerek örgüsüz olarak bir araya getirilmesi ile üretilen geçirgen örtülerdir. Geogridler ise fiziksel özellikleri bir ya da iki yönde geliştirilen hasır şeklindeki geosentetiklerdir. Geogridler, zemin-geosentetik yapısında, geotekstillerden farklı olarak sadece donatı amaçlı kullanılırlar. Buna karşın geotekstiller, geosentetiklerin tüm fonksiyonlarını gösterebilmektedir.

Hava alanı sınıflandırmalarında kaplamalar, yapı yönünden esnek ve rijit olmak üzere iki tipte düşünülmektedir. Esnek kaplama, genelde bitümlü bir yüzey kaplamasının altına bir ya da daha çok granüler tabaka serilerek inşaa edilir. Bu granüler tabakalar temel ve alt temel olarak adlandırılır. Rijit kaplamalarda ise, beton tabakası, sıkıştırılmış doğal zemin üzerine ya da bazı hallerde granüler alt temel tabakasının üzerine inşaa edilmektedir.

Havaalanlarında pist, apron ve taksiyolları gibi bölgelerdeki kaplamaların tabaka kalınlıklarını etkileyen başlıca parametreler;

- i. Uçağın iniş takımı tipi ve geometrisi,
- ii. Lastik yükü,
- iii. Lastik basınçları,

iv. Trafik hacmi

olarak sayılabilir. Havaalanları kaplamalarında geosentetikler; ayırma, filtre, drenaj ve donatı görevi üstlenirler. Ayırma fonksiyonu, farklı iki zemin tabakasının birbirinden ayrılmasını ifade etmektedir. Burada geosentetiğin temel görevi, tabakaların trafik yükü altında birbiri ile girişmesini önleyerek, tasarımda öngörülen kalınlıklarını koruyabilmektir. Filtrasyon fonksiyonunda, geosentetik bir filtre gibi davranarak suyun geçişine izin verir ancak zemini tutar ve sürüklenmesine izin vermez. Drenaj fonksiyonunda, yeraltı suyu geosentetiğin düzlemi boyunca kaplama dışına taşınarak kaplama tabakalarının zarar görmesi önlenmektedir. Kaplama dolguları geosentetikler ile donatılarak 3 şekilde fayda sağlanabilir:

- i. Gelen trafik yüklerine karşı ek bir dayanım sağlayarak kaplamanın ömrünü uzatmak,
- ii. Aynı trafik yükünü daha küçük kesitler ile taşıyabilmek,
- iii. Aynı kesit ile daha fazla trafik yükünü karşılayabilmek.

Burada trafik yükleri, kaplamanın inşaası sırasındaki yükler olabileceği gibi, kaplamanın hizmet süresi boyunca maruz kalacağı taşıt yükleri de olabilir. Kaplamalarda donatı elemanı olarak kullanılacak geosentetikler dolgu tabakalarının arasına veya yüzey kaplaması ile dolgu arasına yerleştirilebilmektedir. Geosentetiğin yüzey kaplaması ile dolgu arasına yerleştirilmesi, daha çok yüzey kaplamasının yenilenmesinde kullanılmakta ve eski yüzeydeki çatlakların yeni yüzeye sıçramasını (Yansıma çatlakları) geciktirme amaçlıdır. Ancak bu çalışmada, bu uygulamaya değinilmemiştir.

Kaplamalardaki donatı fonksiyonunda deneysel yollarla gözlemlenmiş 2 esas etki söz konusudur. Bunlar yatay mesnetlenme ve membran etkisidir. Yatay mesnetlenme, temel tabakası ile geosentetik arasında oluşan kesme kuvveti etkileşimi sonucu ortaya çıkar. Bu etkileşim ise geotekstillerde zemin ile arasında oluşan sürtünme kuvveti, geogridlerde ise zemin danelerinin geogrid açıklıkları ile kenetlenmesi sonucu oluşmaktadır. Membran mekanizması ise büyük yüzey deformasyonu oluşturabilen yükler altında geosentetiğin deforme olması ile gözlenmektedir. Yatay mesnetlenmede geogridler, geotekstillere göre çok daha üstündür. Membran mekanizmasında her iki malzeme de aynı performansı gösterebilmektedir.

Membran mekanizmasının en önemli özelliği geosentetiğin çekme kuvvetleri altında belli bir değere kadar uzamasından sonra ortaya çıkması ve belli bir süreç sonunda devreye girmesidir. Bu sebepten bu mekanizma büyük deformasyonlara izin verilebilen şantiye yolları, park alanları gibi tesislerin inşaasında göz önünde bulundurulmaktadır. Hava alanı kaplamalarında membran mekanizmasını devreye sokacak kadar büyük deformasyonlar oluşmayabilir. Bunun neticesi olarak, özellikle geosentetik donatı ile temel tabakası kalınlığının azaltılmasında yatay mesnetlenme mekanizması göz önünde bulundurulmaktadır.

Kaplamalarda temel tabakasının donatılmasında geogridlerin geotekstillere göre daha üstün bir form olduklarını gösteren çeşitli deneyler mevcuttur. Bu çalışmada bu konu ile ilgili olarak verilen deneyler, Webster [17], Barksdale ve diğerleri [17], Cancelli (1999) ile Vito ve diğerleri (1986) tarafından yapılan deneylerdir. Al-Qadi ve diğerleri [17] tarafından yapılan bir deneyde ise kaplamalarda ayırma, filtre ve drenaj fonksiyonlarının ihmal edildiği durumlarda donatı fonksiyonundan sonuç elde edilemediği ortaya konulmuştur. Bu sebepten, donatı fonksiyonu dışındaki fonksiyonların gerekliliği irdelenmeli ve gerekli görülmesi halinde bunları karşılayabilecek uygun bir geosentetik kullanılmalıdır.

Kaplamalarda donatı olarak kullanılacak olan geosentetiğin dolgu tabakalarına yerleştirilmesinde esas olarak temel tabakasının kalınlığı, yükün şiddeti ve taban zemini dayanımı belirleyici parametreleridir. Webster [17] ve Barksdale [17] tarafından yapılan deneylerin karşılaştırılması ile elde edilen sonuçlara göre hava alanı kaplamaları gibi büyük trafik yüklerine maruz kaplamalarda, ön yaklaşım için donatının temel tabakasını alt sınırına yerleştirilmesi uygundur. Kullanılacak olan donatının kaç tabaka olarak serilmesi gerektiği, taban zemini dayanımına bağlı olarak Tablo 4.5' te verilmiştir.

Bölüm 4.3' te verilen, hava alanı kaplamalarında geosentetik donatı kullanılarak temel kalınlığının azaltılması örneğinde, Airbus A-320 uçağı esas alınarak 86,5 tonluk bir trafik yükü göz önüne alınmıştır. Uçağın yıllık kalkış sayısı, diğer bir deyişle yük tekrar sayısı 16000 kabul edilerek nispeten zayıf bir zemin üzerine detayı Şekil 4.29' da verilen bir kesit düşünülmüştür. "Tensar" firmasının geliştirdiği "TensarPave" programı kullanılarak yapılan çözümde iki sıra geogrid tabakası kullanılarak donatısız halde 1375 mm olan alt temel tabakası kalınlığı 950 mm' ye düşürülmüştür. Bu da alt temel dolgusu kalınlığında yaklaşık %30 azalma anlamına gelmektedir. Çözümde kullanıları geogrid SS30 olup, nihai çekme dayanımı 30 kN/m, %2 deformasyondaki çekme dayanımı 10,5 kN/m, ağırlığı 300 gr/m² ve düzlemsel burkulma rijitliği 9 kgcm/deg olan bir üründür. Şekil 4.32' de donatılı ve donatısız haller için bulunan kaplama kesiti, şematik olarak verilerek karşılaştırılmıştır.

Bölüm 5.2' de ayrıntıları verilen, USACE tarafından yapılan deneyde de havaalanları kaplamalarının donatılmasında önemli sonuçlar elde edilmiştir. Bu deneyde Webster [5] hafif uçakları göz önüne almış ve bu amaçla 130 kN (30000 lb)' luk tek lastik yükü kullanmıştır. Deneyde elde edilen verilere göre geogridlerin açıklık stabilite modülü ile donatı fonksiyonun faydası arasında doğru orantılı bir ilişki söz konusudur. FAA bu deneyden faydalanarak bir rapor hazırlamıştır. Buna göre havaalanlarında malzeme ve uygulama açısından belli şartlar sağlandığında donatısız durumdaki temel tabakası kalınlığının donatılı durumdaki kalınlıkla olan ilişkisi ortaya konulmaktadır. Bu ilişki Şekil 5.10' da verilmiştir. FAA' nin raporunda kullanılması istenilen geogridin düzlemsel burkulma rijitliğini ifade eden açıklık stabilite modülünün 6,5 kgcm/deg' den az olmaması belirtilmiştir.

Yapılan bu çalışmaların ışığında havaalanlarında olduğu gibi büyük trafik yüklerine maruz kaplamaların temel tabakalarında donatı elemanı olarak kullanılacak geogridlerin karakteristik özelliklerinin belli kosulları yerine getirmesi gerektiği söylenebilir. Bu sebeple firmalar tarafından pazara arz edilen her tip geogrid havaalanlarında temel tabakası donatısı olarak kullanılmamalıdır. Geogridlerin düğüm noktalarının bağlantı şekli dikkat edilmesi gereken konuların başında gelmektedir. Bu noktalar, büyük çekme kuvvetlerine karşı dayanıklı olmalı ve geogridin yapısal bütünlüğünü koruyabilmelidir. Bu açıdan bakıldığında, havaalanları için "Tensar" ve "Tenax" firmalarının üretim yöntemi olan delme/uzatma yöntemine göre üretilmiş geogridler donatı elemanı olarak daha uygun görünmektedir. Bu üretim yönteminin doğası gereği geogridin düğüm noktaları zaten birleşik bir yapıda ve geogridin tüm bileşenleri (Kollar, düğüm noktaları) aynı düzlemdedir. Ayrıca bu tip geogridler yüksek kompaksiyona da dayanıklıdır. Geogridlerin imal edildikleri polimerin cinsine de dikkat edilmelidir. Örneğin, kimyasal ve biyolojik etkenlerin bulunduğu bir ortamda, bu etkilere karsı direnci zayıf olan bir polimerden yapılmış bir geogrid kullanılmamalıdır. Bu sebepten proje safhasında geogridlerin maruz kalacağı etkiler incelenmeli ve geogridin mukavemet özelliklerini etkileyecek tüm azaltma katsayıları tespit edilerek, tasarım sırasında geogridin azaltılmış mukavemet değerleri göz önüne alınmalıdır.

Donatılı temel tabakası kalınlığının tayininde kullanılan yöntemlerin çoğu, gelen trafik yükünü geogrid tabakasına Boussinesq gerilme dağıtım teorisine göre dağıtmaktadır. Buna göre, örnekleri EK-C' de verilen ve taban zemini dayanımına göre donatılı ve donatısız haldeki temel tabakası kalınlığının tayininde kullanılan çeşitli tasarım eğrileri mevcuttur. Havaalanlarında donatılı temel tabakası kalınlığı için kullanılabilecek en uygun hesap yöntemi sonlu elemanlara dayanan bilgisayar destekli çözümdür. Bu tip bir çözümde donatı, kaplama kesitinde bir çekme elemanı

olarak tanımlanmaktadır. Bilgisayar destekli sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan çözümlerde gerek donatının gerekse tüm kaplamanın trafik yükleri altında davranışları ortaya konulabilmekte, sistemde oluşan kesit zorlarının değerleri ile trafik yükleri altında sistemin deforme olmuş hali belirlenebilmektedir. Bu tip bir çözüm, Bölüm 6' da verilen Inchon Uluslararası Hava alanında (Seul-G.Kore) tercih edilmiştir. Ancak bu yöntemde her bilgisayar programında olduğu gibi sistemi ve geosentetiği (Özellikle geosentetik-zemin ara yüzeyini) doğru olarak tanımlayabilmek hayati önem taşımaktadır.

Hava alanı pistlerinde temel dolgusunun geosentetikler ile donatılması, günümüzde ekonomik olarak öne çıkmakla birlikte, gelecekte daha yaygın olarak uygulanacaktır. Bunun temel sebebi, uçakların geometrik boyutlarının gün geçtikçe büyümesidir. Uçakların geometrik boyutlarının artması, daha fazla ticari yük taşınabilmesine imkan sağlamasına rağmen, havaalanlarında kaplamaların git gide daha büyük yüklere maruz kalması anlamına da gelmektedir. Havaalanlarında iyileştirme ve yenileme çalışmalarının, trafik yoğunluğu ve havaalanlarının bir ülke için önemi düşünüldüğünde, zor bir çalışma olduğu ve hızlı yapılması gerektiği söylenebilir. Bu sebepten hizmet süresinin uzatılması ya da trafik yükleri altında oluşabilecek kaplama hasarlarının azaltılması, geosentetik kullanımının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, zaten maliyeti yüksek bir proje olan hava alanı inşaasında, dolgu kalınlığının azaltılması projenin daha ekonomik olarak boyutlandırılmasını sağlayacaktır. Bu amaçla, geosentetik kullanımının havaalanlarında sağlayacağı ekonomik katkıların proje aşamasında anlaşılabilmesini sağlayacak pratik hesap yöntemlerinin geliştirilebilmesi faydalıdır. FAA' nin hafif uçaklar için önerdiği eşdeğer donatılı kesit kalınlığını gösteren grafiğin diğer büyük uçaklar için de geliştirilebilmesi ya da deneysel verilere dayanarak ortaya konulabilecek ampirik bağıntılar, geosentetiklerin havaalanlarında donatı elemanı olarak daha yaygın kullanılmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Horonjeff, R. ve McKelvey, F.X., 1994. Planning and Design of Airports, McGraw-Hill, USA.
- [2] Airport Planning Manual-Part I Master Planning Doc 9184-AN/902, 1987. International Civil Aviation Organization, Canada.
- [3] Koerner, R.M., 1998. Designing with Geosynthetics, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., USA.
- [4] **Patterson, J.W.,** 1998. Impact of New Large Aircraft on Airport Design, Federal Aviation Administration, USA.
- [5] Design Guideline For Flexible Pavements With Tensar Geogrid Reinforced Base Layers, 1996. Technical Note, Tensar Earth Technologies, Atlanta, USA.
- [6] Van Santvoort, G, 1994. Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering, A.A.Balkema, Rotterdam, Brookfield, Netherlands.
- [7] Runway Length Requirements For Airport Design, 1990. AC 150-5325, Federal Aviation Administration, USA.
- [8] Aerodrome Design Manual-Part I Runways Doc 9157-AN/901, 1984. International Civil Aviation Organization, Canada.
- [9] Airport Design, 1989. AC 150-5300-13, Federal Aviation Administration, USA.
- [10] Boeing 737 Commercial Airplane Pavement and Performance Data, 1985. D6-58325, Boeing Company, USA.
- [11] Geogrid Reinforced Base Course, 1994. Engineering Briefs-49, Federal Aviation Administration, USA.
- [12] Chai, S.T., Mason, W.H., 1996. Landing Gear Integration in Aircraft Conceptual Design, Virginia Technical Department of Aerospace and Ocean Engineering, USA.
- [13] Airport Pavement Design and Evaluation, 1995. AC 150-5320-6D, Federal Aviation Administration, USA.

- [14] Geosynthetic Functions, 2000. Technical Note.1, Amoco Fabrics Fibers Co., USA.
- [15] Aksoy, İ.M., 1993. Modern Yol İnşaatında Geotekstil ve Geogrid Uygulaması Konularında Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] Handbook of Geosynthetic, 2002. Geosynthetic Materials Association, Minnesota, USA.
- [17] A Review Of Geosynthetic Functions And Applications in Paved and Unpaved Roads, 1998. Technical Note, Tensar Earth Technologies, Atlanta, USA.
- [18] Tensar Tools Cd, 2001. Tensar International, Blackburn, UK.
- [19] **Base Reinforcement-Mechanisms,** 2001. Technical Note, Tensar Earth Technologies, Atlanta, USA.
- [20] Base Reinforcement-Product Equivalency, 2001. Technical Note, Tensar Earth Technologies, Atlanta, USA.
- [21] Base Reinforcement-Ligth Aircraft Pavements , 2001. Technical Note, Tensar Earth Technologies, Atlanta, USA.
- [22] Valero, S., Anderson, A., 2001. Design Method for Tensar Geogrid-Reinforced Unpaved Roads Developed by Dr. J.P.Giroud and Dr. Jie Han, *Tensar Earth Technologies*, Atlanta, USA.
- [23] Vito, A.G., Dong, K.C., Michael A.S., 1986. Comparison of Geogrid and Geotextile Reinforced Earth Slabs, *Canadian Geotech.*, 23, 435-440.
- [24] Design Guideline For Subgrade Improvement Under Dynamic Loading with Tensar Geogrids, 1998. Technical Note, Tensar Earth Technologies, Atlanta, USA.
- [25] Atatürk Havalimanı Gelişim Etüdü, 1997. İ.T.Ü. Uyg-Ar Kesin Rapor, İstanbul.
- [26] Cancelli, A., Montanelli, F., 1999. In-ground Test For Geosynthetic Reinforced Flexible Paved Roads, Proceedings of the Geosynthetics Conference, IFAI, Boston, USA.

- [27] Geosentetiklerin Özellikleri ve Tasarım İlkeleri, 1994. B.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [28] **Cancelli, P., Recalcati, P., Shin, E.,** 2000. Inchon International Airport: Subgrade Reinforcement with Geogrids, TDS:005 Tenax Co., Italy.
- [29] Application Suggestions Documents, Tensar International, SK/03/117A;
 2003. Engine Müm. Müh. San. ve Tic. (Tensar Türkiye Temsilciliği), İstanbul.
- [30] Floss, R., Jaecklin, F.P., 1988. Methode zur Bemessung von Geotextilien im Straßenbau auf besonders weichem Untergrund, Sonderdruck aus *1.Kongreß* Kunststoffe in der Geotechnik, Hamburg, Deutschland.
- [31] www.dhmi.gov.tr, 2003. Devlet Hava Meydanları İşletmesi web sayfası
- [32] <u>www.naue.com</u>, 2003. Naue Fasertechnik web sayfası
- [33] Geosynthetics Brochure, 2003. Terram Limited, Great Britain.
- [34] Geosynthetic Reinforcement Of The Aggregate Base/Sub Base Courses Of Pavement Structures, 2000. Geosynthetic Materials Association, Minnesota, USA.



Şekil A.1 Esnek Kaplamalarda Çift Lastik Durumu İçin Tasarım Eğrisi



Şekil.A.2 Esnek Kaplamalarda Çift Tandem Durumu İçin Tasarım Eğrisi



Şekil A.3. Esnek Kaplamalarda A-300 Uçağı İçin Tasarım Eğrisi

CBR



Şekil. A.4 Esnek Kaplamalarda B-747 –100-200 Uçağı İçin Tasarım Eğrisi





Şekil.A.5 Esnek Kaplamalarda B-747 SP Uçağı İçin Tasarım Eğrisi



Şekil.A.6 Esnek Kaplamalarda B-757 Uçağı İçin Tasarım Eğrisi



Şekil.A.7 Esnek Kaplamalarda B-767 Uçağı İçin Tasarım Eğrisi





Şekil B.1. Rijit Kaplamalarda Çift Lastik Yükü İçin Verilen Tasarım Eğrisi



Şekil B.2. Rijit Kaplamalarda Çift Tandem Yükü İçin Verilen Tasarım Eğrisi



Şekil B.3. Rijit Kaplamalarda Airbus A-300 Uçağı İçin Verilen Tasarım Eğrisi



Şekil B.4. Rijit Kaplamalarda B-747 –100-200 Uçakları İçin Verilen Tasarım Eğrisi



Şekil B.5. Rijit Kaplamalarda B-747 SP Uçağı İçin Verilen Tasarım Eğrisi


Şekil B.6. Rijit Kaplamalarda B-757 Uçağı İçin Verilen Tasarım Eğrisi



Şekil B.7. Rijit Kaplamalarda B-767 Uçağı İçin Verilen Tasarım Eğrisi

EK-C DONATILI TEMEL DOLGUSU KALINLIĞININ TESPİTİ

Şekil C.2' de standart aks yükü için, Şekil C.3' ten Şekil C.8' e kadar ise diğer trafik yükü halleri için "Tensar" firmasının BR 1 (BX1100) geogridi için üretilen tasarım eğrileri verilmiştir.[18, 24] (1 psi=0,145 kPa; 1 inç=25 mm; 1 lb=0,4536 kgf)



Şekil C.1. Tasarım Eğrilerinde Kabul Edilen Trafik Yükü (Tensar)

Şekil C.9' dan Şekil C.20' ye kadar ise "Huesker" firmasının geliştirdiği tasarım eğrileri verilmiştir. Grafiklerde yatay eksende zeminin CBR yüzde değeri, düşey eksende ise dolgu kalınlığı dm cinsinden verilmiştir. Verilen tasarım eğrilerinde R, lastik diş derinliğini; K, malzeme katsayısını; V trafik hacim katsayısını göstermektedir. V değeri arttıkça trafik yükleri artmaktadır. F_d , tasarım çekme dayanımı "A" azaltma katsayılarına bağlı olarak hesaplanmaktadır.[30]



Şekil C.2. 80 kN'luk Standart Aks Yükü İçin Çeşitli Tekrar Sayılarına Göre Tasarım Eğrileri [18]



Şekil C.3. Çift Lastik Yükü (9000 lb) Halinde Donatılı Temel Kalınlığı Tespiti İçin Kullanılacak Tasarım Eğrisi [24]



Şekil C.4. Çift Lastik Yükü (12000 lb) Halinde Donatılı Temel Kalınlığı Tespiti İçin Kullanılacak Tasarım Eğrisi [24]



Şekil C.5. Tek Lastik Yükü (32000 lb) Halinde Donatılı Temel Kalınlığı Tespiti İçin Kullanılacak Tasarım Eğrisi [24]



Şekil C.6. Tek Lastik Yükü (60400 lb) Halinde Donatılı Temel Kalınlığı Tespiti İçin Kullanılacak Tasarım Eğrisi [24]



Şekil C.7. Çift Lastik Yükü (46000 lb) Halinde Donatılı Temel Kalınlığı Tespiti İçin Kullanılacak Tasarım Eğrisi [24]



Şekil C.8. Çift Lastik Yükü (100000 lb) Halinde Donatılı Temel Kalınlığı Tespiti İçin Kullanılacak Tasarım Eğrisi [24]



Şekil C.9. İnce Dane İçermeyen İyi Derecelenmiş Kırmataş İçin Verilen Tasarım Eğrisi (R=0,5, K=0) [30]



Şekil C.10. İyi Derecelenmiş Malzeme (Yuvarlak Daneli Olabilir) İçin Verilen Tasarım Eğrisi (R=0,5, K=1) [30]







Şekil C.11. Çakıllı Kumdan Killi Çakıllı Zeminlere (İnce Dane %10' dan Az) Verilen Tasarım Eğrisi (R=0,5, K=2) [30]



Şekil C.12. İnce Dane İçermeyen İyi Derecelenmiş Kırmataş İçin Verilen Tasarım Eğrisi (R=2, K=0) [30]



Şekil C.13. İyi Derecelenmiş Malzeme (Yuvarlak Daneli Olabilir) İçin Verilen Tasarım Eğrisi (R=2, K=1) [30]



Şekil C.14. Çakıllı Kumdan Killi Çakıllı Zeminlere (İnce Dane %10' dan Az) Verilen Tasarım Eğrisi (R=2, K=2) [30]



Şekil C.15 İnce Dane İçermeyen İyi Derecelenmiş Kırmataş İçin Verilen Tasarım Eğrisi (R=5, K=0) [30]



R=5 Schüttmaterial K = 1 (gut abgestuftes Material, auch Rundkorn, z. B. GW 0/45) K=1Verkehrsbelastungsfaktor V (0.5 bis 3) siehe Diagramm

Bewehrung mit einem Geogitter Fortrac^R 55/30 - 20

Kurzzeitfestigkeit Fk = 55 kN/m

Abminderungsfaktor A1 = 1.53 , A2 = 1.3 , A3 = 1.0 , A4 = 1.0 , ym = 1.75



CBR WERTE [%]



Şekil C.16. İyi Derecelenmiş Malzeme (Yuvarlak Daneli Olabilir) İçin Verilen

Tasarım Eğrisi (R=5, K=1) [30]

CBR WERTE [%]



Şekil C.17. Çakıllı Kumdan Killi Çakıllı Zeminlere (İnce Dane %10' dan Az) İçin Verilen Tasarım Eğrisi (R=5, K=2) [30]



Şekil C.18. İnce Dane İçermeyen İyi Derecelenmiş Kırmataş İçin Verilen Tasarım Eğrisi (R=10, K=0) [30]



Şekil C.19. İyi Derecelenmiş Malzeme (Yuvarlak Daneli Olabilir) İçin Verilen Tasarım Eğrisi (R=10, K=1) [30]



Şekil C.20. Çakıllı Kumdan Killi Çakıllı Zeminlere (İnce Dane %10' dan Az) Verilen Tasarım Eğrisi (R=10, K=2) [30]

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında İstanbul' da doğdu. 1991 yılında Ortaköy G.Osman Paşa ortaokulunu bitirdi. Lise eğitimini Özel Ahmet Şimşek Fen Lisesinde tamamladıktan sonra 1994 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. 1998 yılında buradan mezun olduktan sonra İ.T.Ü. Yüksek Lisans İngilizce Hazırlık programının ardından 1999 yılında İ.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalında yüksek lisans çalışmalarına başladı.