

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
RESİMLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Esnek Yol Üstyapı Tabakaları Ve Özellikleri	6
2.1.1 Taban Zemini	7
2.1.2 Temel Tabakaları	8
2.1.2.1 Alt Temel Tabakası	9
2.1.2.2 Temel Tabakası	11
2.1.3 Kaplama Tabakaları	11
2.1.3.1 Asfalt Betonu Kaplamalar	12
2.1.3.2 Sathi Kaplamalar	14
2.2 Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulma Türleri Ve Nedenleri	14
2.2.1 Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulma Nedenleri	14
2.2.1.1 Tasarım Hataları	15
2.2.1.2 Yapım Hataları	15
2.2.1.3 Bakım Hataları	16
2.2.1.4 Çevre ve İklim Etkileri	17
2.2.1.5 Aşırı Dingil Yükleri	18
2.2.2 Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulma Türleri	19
2.2.2.1 Çatlaklar	19

2.2.2.2 Tekerlek İzi Oluşumu	25
2.2.2.3 Oturma ve Çökmeler	28
2.2.2.4 Ondülasyon ve Yığılmalar	30
2.2.2.5 Kabarmalar	31
2.2.2.6 Ayrılma, Ayrışma ve Parçalanmalar	31
2.2.2.7 Cilalanma ve Kusma	33
2.3 Esnek Yol Üstyapısında Meydana Gelen Gerilmeler	33
3. MATERYAL VE METOD	35
3.1. Problemin Tanımı	35
3.2. Sonlu Eleman Analiz Aşamaları	37
4. BULGULAR	39
4.1 Asfalt Kaplamada Elastisite Modülü Değişimine Göre Üstyapı Gerilme Analizi	39
4.2 Asfalt Kaplamada Kaplama Kalınlığı Değişimine Göre Üstyapı Analizi	45
4.3 Farklı Elastisite Modülüne Göre Şekil Değiştirmeler	49
4.4 Farklı Kaplama Kalınlıklarına Göre Şekil Değiştirmeler	54
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
6. KAYNAKLAR	61
7. ÖZGEÇMİŞ	66

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YOL KATMANLARINDA MEYDANA GELEN GERİLME DAĞILIMININ ANSYS BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE NONLİNEER SONLU ELEMAN ANALİZİ

Lale GEVREK

**Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin AKBULUT

Tabakalı bir yapıya sahip olan yol üstyapısının dinamik yükler karşısında nasıl bir tepki vereceği bilinmemektedir. Bu gerilmelerin tespiti için laboratuvar koşullarında, uzun uğraşlar sonucunda değerler elde edilmektedir. Gerilme analizlerinin tahmininde önemli ölçüde sonlu elemanlar metodu kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada; yol üstyapısının katmanlarında meydana gelen gerilmelerin tespiti için sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS programı kullanılmıştır. ANSYS yazılımı ile iki farklı değişken ele alınarak esnek üstyapının gerilme analizi yapılmıştır. İlk değişken elastisite modülü değişimine göre üstyapı gerilme analizi, bunlar için 2100 MPa, 2500 MPa, 3000 MPa ve 3500 MPa değerlerinde kaplama tabakasına sahip yol üstyapısının analizleri yapılmıştır. İkincisi ise kaplama kalınlığı değişimine göre üstyapı gerilme analizi, bunlar için 30 mm, 50mm, 70mm ve 100mm kalınlığa sahip kaplama tabakası için analizler yapılmıştır. Çalışma sonucuna göre; 3500 MPa elastisite modülüne sahip kaplamanın yüksek gerilmelere maruz kaldığı görülmüştür. 2100 MPa elastisite modülüne sahip kaplamada ise plastik şekil değiştirmenin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Farklı kaplama kalınlıklarında ise 100 mm kalınlığına sahip kaplama tabakası analizi sonucunda gerilme değerlerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. 30 mm kaplama kalınlığına sahip tabakada ise yüksek gerilme değerleri görülmüştür. Sonuç olarak ANSYS yazılımı ile yapılan analizlerden elde edilen gerilme değerleri yol tasarımında yol gösterici veriler olarak kullanılabilir.

2008, 87

Anahtar Kelimeler: Esnek Üstyapı, Gerilme Analizi, Sonlu Elemanlar Metodu, ANSYS

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

LAYER A ROAD OF THE PRODUCE THE DISTRIBUTION OF THE STRESS ANSYS COMPUTER PROGRAM WITH NONLINEER FINITE ELEMENT ANALYSIS

Lale GEVREK

**Afyon Kocatepe University,
Institute for the Natural and Applied Sciences
Education of Construction**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin AKBULUT

Reactions of a pavement which has a layered structure against dynamic loads are uncertain. In order to detect those stresses, several values are obtained after numerous works under laboratory conditions. In recent years, the finite element method is started to be used significantly for the estimations during stress analysis.

In this study, the ANSYS software is used in order to detect these stresses realized on the layers of a pavement. With the ANSYS software, a stress analysis has realized on the flexible pavement by using two different variables. The layers of the pavement analyzed according to the first variable (the variation of the elasticity module) have the values of 2100 MPa, 2500 MPa, 3000 MPa and 3500 MPa.. The layers of the pavement analyzed according to the second variable (the variation of the surfacing thickness) have the thickness of 30 mm, 50mm, 70mm and 100mm. According to the working results, it is observed that the surface having the elasticity module of 3500 MPa is exposed to high stresses. And for the surface having the elasticity module of 2100 MPa has various plastic deformations. Regarding different surfacing thicknesses, it is observed that the stress values resulting from the analysis of the surfacing layer having a thickness of 100 mm are small. But high stress values are encountered for the layer having a thickness of 30 mm. In conclusion, the stress values obtained by the analysis realized with the help of the ANSYS software can be used as guiding data during the road design.

2008, 87

Keywords: Flexible Pavement, Stress Analysis, Finite Element Method, ANSYS

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın ortaya çıkarılmasında yapmıő olduğu çok değerli katkı ve yönlendirmeler ile bana büyük destek veren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Hüseyin AKBULUT'a teőekkürlerimi sunarım.

ANSYS yazılımı konusunda benden hiçbir zaman bilgisini esirgemeyen arkadaşım Ufuk TİFTİK'e, yine ANSYS yazılımında bir eőik atlamama sebep olan Sayın Doç. Dr. Kubilay ALTINTAŐ'a, tez çalıőmam süresince bana her konuda yardımcı ve destek olan Sayın Cahit GÜNER hocama, bugünlere gelmemde maddi ve manevi desteği sağlayan değerli hocam Yüksel YUCA'ya, benden sevgisini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme, her zaman yanımda olan, elinden gelen yardımı esirgemeyen, dertlerime ortak olan çok kıymetli eőim Ferdi GEVREK'e en içten teőekkürlerimi sunarım.

Lale GEVREK
Afyonkarahisar,2008

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1.Simgeler

α	Alfa (Yol üstyapısının servis yeteneğine göre değişen bir katsayı)
mm	Milimetre
sn	Saniye
kg/mm ³	Kilogram/milimetreküp
KPa	Kilopascal
MPa	Megapascal
° C	Santigrad Derece
E.F	Taşıtın Eşdeğerlik Faktörü
L _i	Dingil Yüğü
İ	Taşıtın Dingil Sayısı

2.Kısaltmalar

AÇ	Asfalt Çimentosu
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials (Amerikan Eyalet Yol ve Ulaşım Kuruluşları Birliği)
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
ÇBGT	Çimento Bağlayıcılı Granület Temel
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
PÇ	Portland Çimentosu
PMT	Plentmiks Temel
TSRST	Baskı Kontrollü Modelleme Testi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1	Yol Üstyapısı Tip Enkesiti	2
Şekil 2.1	Yol Üstyapısını Oluşturan Tabakalar ve Tabakaların Çeşitleri	6
Şekil 2.2	Tipik Bir Esnek Üstyapı En Kesiti	7
Şekil 2.3	Yapısal Tekerlek İzi	27
Şekil 2.4	Akma Tekerlek İzi	27
Şekil 2.5	Konsolidasyon ve Yüzeysel Tekerlek İzi	28
Şekil 2.6	Tipik Bir Yol Üstyapı Kesiti ve Gerilme Dağılımı	33
Şekil 2.7	Hareketli Dingil Yüğü Tarafından Oluşturulan Gerilmeler	34
Şekil 2.8	Hareketli Tekerlek Yüğüne Visko-Elastik Tepki	34
Şekil 3.1	Esnek Yol Üstyapısı Kesiti	35
Şekil 3.2	Sonlu Eleman Ağı	37
Şekil 3.3	Ağır Araç Dingil Planı	38
Şekil 4.1	İlk Yükleme (Ön Tek Teker) Anındaki Gerilme Grafiğı	40
Şekil 4.2	İkinci Yükleme (Orta Çift tekerler) Anındaki Gerilme Grafiğı	41
Şekil 4.3	Son Yükleme (Arka Çift Tekerler) Anındaki Gerilme Grafiğı	41
Şekil 4.4	İlk Yükleme (Ön Tek Teker) Anındaki Gerilme Grafiğı	43
Şekil 4.5	İkinci Yükleme (Orta Çift tekerler) Anındaki Gerilme Grafiğı	44
Şekil 4.6	Son Yükleme (Arka Çift Tekerler) Anındaki Gerilme Grafiğı	44
Şekil 4.7	İlk Yükleme (Ön Tek Teker) Anındaki Gerilme Grafiğı	46
Şekil 4.8	İkinci Yükleme (Orta Çift tekerler) Anındaki Gerilme Grafiğı	46
Şekil 4.9	Son Yükleme (Arka Çift Tekerler) Anındaki Gerilme Grafiğı	47
Şekil 4.10	İlk Yükleme (Ön Tek Teker) Anındaki Gerilme Grafiğı	48
Şekil 4.11	İkinci Yükleme (Orta Çift tekerler) Anındaki Gerilme Grafiğı	48
Şekil 4.12	Son Yükleme (Arka Çift Tekerler) Anındaki Gerilme Grafiğı	49
Şekil 4.13	2100 MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değıştirmeler	50
Şekil 4.14	2500 MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değıştirmeler	50

Şekil 4.15	3000 MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değiş-tirmeler	51
Şekil 4.16	3500 MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değiş-tirmeler	51
Şekil 4.17	2100 MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değiş-tirmeler	52
Şekil 4.18	2500 MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değiş-tirmeler	53
Şekil 4.19	3000 MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değiş-tirmeler	53
Şekil 4.20	3500 MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değiş-tirmeler	54
Şekil 4.21	30 mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değiş-tirmeler	55
Şekil 4.22	50 mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değiş-tirmeler	55
Şekil 4.23	70 mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değiş-tirmeler	56
Şekil 4.24	100 mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değiş-tirmeler	56
Şekil 4.25	30 mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değiş-tirmeler	57
Şekil 4.26	50 mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değiş-tirmeler	57
Şekil 4.27	70 mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değiş-tirmeler	58
Şekil 4.28	100 mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değiş-tirmeler	58

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa No
Resim 2.1	21
Şiddetlerine Göre Timsah Sırtı Çatlaklar a) Düşük b) Orta c) Yüksek	
Resim 2.2	22
Şiddetlerine Göre Enine Çatlaklar a) Düşük b)Orta c) Yüksek	
Resim 2.3	23
Şiddetlerine Göre Boyuna Çatlaklar a) Düşük b) Orta c) Yüksek	
Resim 2.4	24
Şiddetlerine Göre Kenar Çatlakları a) Orta b) Yüksek	
Resim 2.5	25
Şiddetlerine Göre Blok Çatlaklar a) Orta b) Yüksek	
Resim 2.6	26
Tekerlek İzi Olukları	
Resim 2.7	29
Şiddetlerine Göre Oturma ve Çökmeler a)Düşük b) Orta c) Yüksek	
Resim 2.8	30
Şiddetlerine Göre Ondülasyonlar a) Düşük b) Orta c) Yüksek(Yığılma)	
Resim 2.9	31
Kaplamada Kabarma Oluşumu	
Resim 2.10	32
Şiddetlerine Göre Çukurlar a) Düşük b) Yüksek	
Resim 3.1	42
Bir Esnek Kaplamada Meydana Gelen Deformasyon	
Resim 3.2	42
Bir tekerlek izi deformasyonu	
Resim 3.3	45
Bir Kırılma Örneği	

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1 Ulaştırma Modlarına Göre Türkiye’de Yurtiçi Taşımacılık	1
Çizelge 2.1 Temel / Alttemel Tabakaları Gradasyon Limitleri	8
Çizelge 2.2 Alttemel Tabakası Granülometri Limitleri	10
Çizelge 2.3 Alttemel Malzemelerinin Fiziksel Özellikleri	10
Çizelge 2.4 Binder tabakası İçin Gradasyonlar	13
Çizelge 2.5 Aşınma Tabakası İçin Gradasyonlar	13
Çizelge 2.6 Asfalt Kaplama Kusurları ve Nedenleri	15
Çizelge 2.7 Ağır Dingil Yükleri Sonucu Yol Ekonomik Ömründe Görülen Azalma	19
Çizelge 3.1 Malzeme Özellikleri	36
Çizelge 3.2 Kayma ve Hacim Modülü Değerleri	36
Çizelge 3.3 Yükleme Adımları	38

1. GİRİŞ

Karayolu Dünyada ve Türkiye’de en vazgeçilmez ulaşım ağlarından bir tanesidir. Karayolundaki gelişmişlikle ülkenin gelişmişliği arasında çok yakın bir ilişki vardır. Ülkemizde ulaşım ihtiyacımızı karşılamak için birçok alternatif bulunmaktadır. Fakat bu ulaştırma modları arasında orantılı bir dağılım ne yazık ki mevcut değildir. Ulaştırma türleri yolcu ve yük taşımacılığı bakımından ele alındığında, Türkiye karayolu ulaşımı, toplam yük taşımacılığının %90’ını, yolcu taşımacılığının ise %95’ini karşılamaktadır. Bu verilere bakıldığında da anlaşılabilceği gibi ülkemizde ulaştırma yükünün en fazla karayollarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu aynı zamanda farklı ulaşım modlarının yeterince kullanılmadığı anlamına gelmektedir. Çizelge 1.1’de modlar arası dağılım sayısal olarak ifade edilmiştir. Ulaştırma yükünün neredeyse tamamını karşılamaya çalışan karayollarımız kısa sürede deformasyona uğramakta ve servis ömrünü tamamlamadan bozulmaktadır.

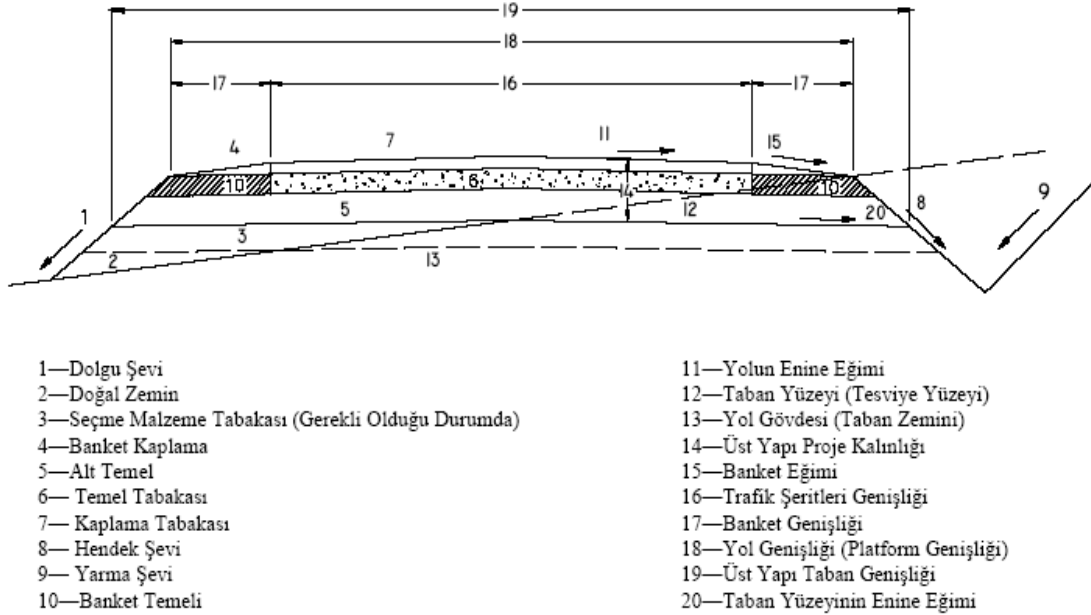
Çizelge 1.1 Ulaştırma Modlarına Göre Türkiye’de Yurtiçi Taşımacılık (Kaya, 2008).

MODLARARASI DAĞILIM (%)						
	Karayolu	Demiryolu	İç Suyolları	Boruyolu	Denizyolu	Havayolu
YOLCU TAŞIMACILIĞI	95,5	2,8	1,7
YÜK TAŞIMACILIĞI	89,9	5,4	1,6	2,96

Bir yol üstyapısı esnek ve rijit kaplamalı üstyapılar olmak üzere iki farklı tür altında incelenir. Esnek yol üstyapıları asfalt kaplamalı yollardır. Esnek yol üstyapılarında yol gövdesi iki kısımdan meydana gelir. Bunlar altyapı ve üstyapı kısımlarıdır. Örnek bir yol üstyapısı tip enkesiti Şekil 1.1’de gösterilmiştir.

Altyapı yol projesindeki yarma ve dolgulardan oluşur. Yol altyapısının durumu yol üstyapısını doğrudan etkiler. Bu sebeple yol altyapısını oluşturan yarma ve dolgular şartnamelerindeki kurallara uygun olarak yapılmalıdır. Yol üstyapısı ise, trafik yüklerini taşıyan ve bu yükleri en üst katmandan alt katmana kadar azaltarak ileten çok katmanlı bir yapıdır. Bu katmanlarda kullanılan malzemelerin özelliklerine göre de esnek ve rijit olmak üzere iki kısma ayrılırlar (Orhan 2006). Bu iki farklı yol üstyapılarında bağlayıcı

malzeme olarak, rijit yol kaplamalarında portland çimentosu (PÇ), esnek yol kaplamalarında ise asfalt çimentosu (AÇ) kullanılmaktadır (Babkov 1983).



Şekil 1.1 Yol Üstyapısı Tip Enkesiti (Sağlık, Güngör 2006).

Yol üstyapısında tüm ülkeler tarafından en çok tercih edilen kaplama türü, konforu ve diğer sağladığı avantajlardan dolayı asfalt kaplamalardır. Asfalt kaplamalar konusunda geniş bir bilgi birikimine sahip olmamıza rağmen çeşitli ve karmaşık problemlerle sıklıkla karşılaşmaktadır (Şengül 2006). Karşılaşılan bu problemlerin çözümü için ise ciddi miktarlarda kaynak aktarılması gereklidir.

Yapılan bu yolların çok büyük miktarlarda ekonomik maliyetleri sonucunda ortaya çıktığı açıktır. Dolayısıyla bu kadar maliyet ile inşa edilen bu alt yapı projelerinin tasarlanmasında belirli kriterlerin daha önceden bilinmesi ve bunun sonucunda da inşa edilmesi önem arz etmektedir. Bu değerlerin tespitinde çeşitli zorluklar mevcuttur. İşte bu zorlukların başında, yol yüzeyine gelen hareketli yüklerin nitelik ve niceliğini tespit etmek yol tasarımı ve belirlenen servis ömrünün tayininde hayati öneme sahiptir.

Bu itibarla çeşitli bilgisayar programları kullanılarak bu değerlerin daha net bir şekilde tahmin edilmesi ve tasarımda kullanılması daha iyi bir proje yapılmasına imkân sağlayabilir.

Farklı katmanlara sahip yol üstyapılarının, değişik dolaylı yüklemeler karşısında nasıl davrandığı tam olarak bilinmemektedir. Bu konuyla ilgili deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmasına rağmen, özellikle ülkemizdeki yol üstyapı tabaka kalınlıkları esas alınarak yapılan bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Bu çalışmada farklı tabaka kalınlıklarına sahip yol üstyapıları ile farklı elastisite modüllüne sahip asfalt kaplamalar için dinamik yüklemeler yapılarak, üstyapının nasıl bir davranış sergilediği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu tahminleri daha kolay bir şekilde yapmak için, dinamik yüklerin yol katmanlarında meydana getireceği muhtemel gerilmeleri tespit etmek üzere ANSYS bilgisayar programı kullanılmıştır.

Çalışmaların sonucu gösteriyor ki; yolun performansını önemli derecede etkileyecek olan kaplama tabakası için seçilecek malzeme özellikleri önem arz etmektedir. Çünkü esnek yol üstyapısında gerilmeler alt tabakalara inildikçe azalmaktadır ve bu doğrultuda en yüksek gerilmelere maruz kalan tabaka ise kaplama tabakasıdır. Kaplama tabakası için önemli olan değerlerden biri elastisite modülüdür ve yol için elde edilecek elastisite modülünün çok yüksek değerlerde olması yolun performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Yine çok düşük olması da istenen bir durum değildir, optimum bir değer seçilmesi en uygunudur.

İkinci önemli nokta ise, kaplama kalınlığı tespitidir. Kaplama tabakasının kalınlığının artması sonucu gerilme değerlerinde azalma görülmektedir. Fakat kaplama kalınlığının artması gerilmeleri düşürürken maliyet açısından ağır külfetler doğurmaktadır. Bu doğrultuda hem kaplamanın uzun ömürlü olabilmesi için hem de maliyet açısından ekonomik olması için uygun bir kalınlık seçilip inşası yapılması gerekmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

Esnek üstyapılarda sonlu elemanlar metodu kullanılarak katmanlarda meydana gelen gerilme dağılımlarının incelenmesi ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır.

Edwards, Isacsson, Taşdemir çalışmalarında asfalt beton karışımlarındaki 160/220 penetrasyon düzeyindeki bitüme iki cins ticari balmumu eklemenin etkilerini; baskı kontrollü modelleme testi (TSRST), hareketli sünme testi (Dynamic Creep Test) ve karmaşık modul testi (Complex Modulus Test) ile araştırmışlardır. Hareketli, sünme testinde balmumsuz zift ve FT-parafin içeren asfalt karışımlarındaki en küçük izler tekerlek izine daha iyi direnç sağlayacak şekilde kaydedilmiştir. Karmaşık modul testinde, %6 ticari balmumu eklemek modülü gözle görülür artırmış ve faz açısını FT-parafin içeren karışımda polietilen balmumu karışımına göre daha önemli bir etki bırakmıştır (Edwards, Taşdemir, Isacsson 2006).

Dessouky, Masad, Bayomy yaptıkları çalışmada bitümlü sıcak karışımdaki (BSK) bütünsel yapı sağlamlığını değerlendirmeye yarayan bir yöntem sunmuşlardır. Superpave yoğurmalı pres 3 boyutlu sonlu bir modeli sunulmuştur ve bu sonlu modelden hesaplanan deşme enerjisi dizini deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır. Görüntü çözümlene teknikleri bütünsel yapıların yönlendirme ve sıkışma sırasındaki deşme deşişmelerini ölçmek için kullanılmıştır. Görüntü çözümlene sonuçları ile deneysel ölçümleri karşılaştırmışlardır, karşılaştırma deşme sayısı, bütünsel yapının yeniden yönlendirmeye direnci ve deşme enerjisi deşeri arasındaki güçlü bir ilişki göstermektedir (Dessouky, Masad, Bayomy 2003).

Bhattacharjee, Gould, Mallick, Hugo laboratuvar ortamında bir bitümlü sıcak karışım modeli oluşturmuşlardır. Bu model üzerinde model mobil yükleme benzeştirme (MMLS3) kullanarak tekrarlanan tekerlek yükleri uygulanmıştır. MMLS3 yardımı ile zorlanma ölçümlerinin kullanımı, yükleme, zorlanma ölçümünün çeşitli yönlerle kullanılması ile veri elde edilmesi ve deneme sonuçlarının çözümlenmesi üzerine çalışmışlardır. Veri çözümlenmesi sonucunda tekerlek yüklemesinin yol yüzeyindeki zorlama ve çatlama adına ortaya koyduğu performansı göstermiştir. Tekerlek izi

geçmişinin değişik aşamaları tanımlanmış ve yolun yorulma performansı üzerindeki etkilerini tartışmışlardır (Bhattacharjee, Gould, Mallick, Hugo 2004).

Mulungye, Owende, Mellon yaptıkları çalışmada ağır bir taşıtın değişik teker basıncı, şekli ve dingil yüklemelerinin ince asfalt yüzey katmanlı ve yumuşak toprak zeminli esnek yol yüzeyinin yapısal performansına etkisini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak değerlendirmişlerdir. ANSYS sonlu elemanlar programında dört katmanlı bir üstyapı iki boyutlu olarak modellenmiştir. Bu üstyapıya 350,490,630 ve 770 KPa değerlerinde basınca sahip 4 farklı teker yükü uygulanmıştır. Sonlu elemanlar modeli gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek için kullanılabilir (Mulungye, Owende, Mellon 2005).

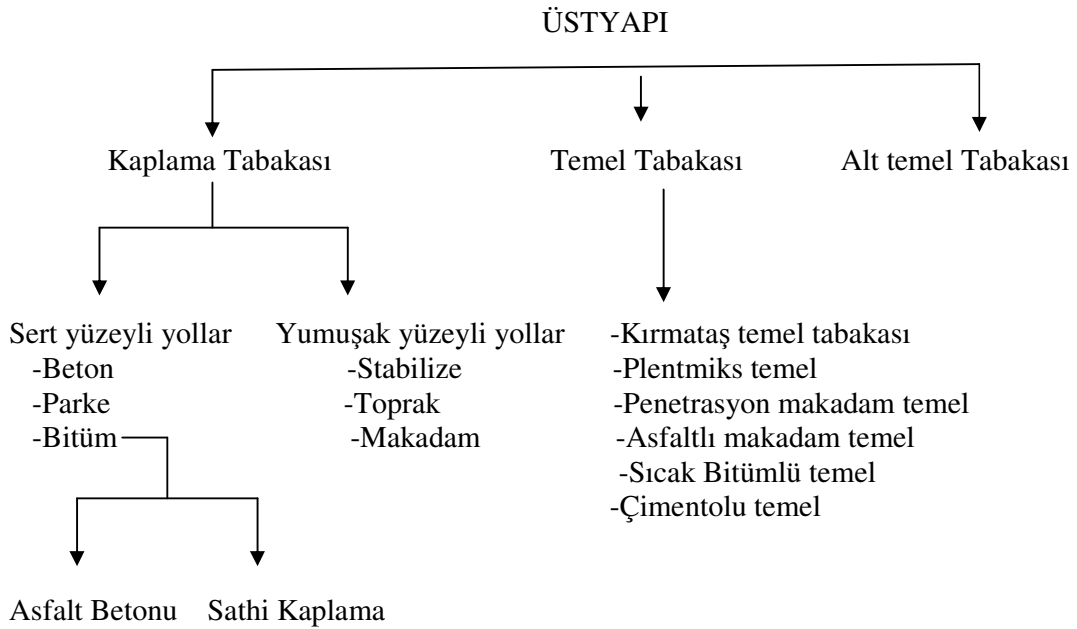
Akbulut ve Aslantaş, çalışmalarında asfalt yol yüzeyi üzerindeki teker basınçlarının yatay ve dikey etkileri ve yol katmanları arasındaki basınç dağılımını sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemiştir. Esnek üstyapı, aşınma tabakası, temel tabakası, alttemel ve zemin olmak üzere 4 katmanlı olarak modellenmiştir. Yük uygulamasında standart bir basınca sahip çiftli teker seçilmiştir. Çalışma sonucunda, yorulma belirtisi maksimum basınç uygulanırken katman geçişleri arasında oluşabilirken, sıkıştırıcı ve gerici basınç tekerler arasında önemli bir değere ulaşmaktadır. Dikey basınç tüm yol yüzeyi katmanlarında etkin olsa da, yatay basınç yalnızca aşınma tabakasında ve temel tabakasında etkilidir. Bu da yorulmaya dayalı yol yüzeyi bozulmasının ana nedenidir (Akbulut ve Aslantaş 2004).

2.1 Esnek Yol Üstyapı Tabakaları ve Özellikleri

Esnek yol üstyapısı alt temel, temel ve kaplamadan oluşan tabakalı bir yapıdır. Üstyapı, alt yapı ile araç tekerlerinin yüzeye değdiği alan arasında düzgün bir yüzey oluşturmak üzere inşa edilir. Üstyapının görevleri şunlardır (Orhan 2006, Yıldız 2003, Şiş 2000):

- Trafik yüklerinden meydana gelen gerilmeleri alt tabakalara aktarmak ve taban zeminine fazla yük gelmesini engellemek
- Düzgün ve konforlu bir sürüş yüzeyi oluşturmak
- Yol gövdesini çevrenin olumsuz etkilerine karşı korumak

Yol üstyapısını oluşturan tabakalar ve bu tabakaların çeşitleri Şekil 2.1 de gösterilmiştir (Croney ve Croney 1998)



Şekil 2.1 Yol Üstyapısını Oluşturan Tabakalar Ve Tabakaların Çeşitleri.

Üstyapıyı oluşturan tabakalar farklı mekanik özelliklere sahip malzemelerden yapılır. Genellikle temel tabakaları için granüler malzemeler, kaplama tabakaları için ise asfalt bağlayıcılı malzemeler tercih edilir. Bunun sebebi ise esnek kaplamalarda gerilme ve deformasyon üst tabakalardan alt tabakalara doğru azaldığından ötürü, üst tabakalarda daha kaliteli ve mukavemeti yüksek malzeme olan asfalt bağlayıcılı malzemeler, alt

katmanlarda ise mukavemeti düşük fakat dren özelliği daha yüksek granüler malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca esnek yol üstyapısının üst kısımları asfalt bağlayıcıli karışımlar ile yapılarak, yüzeysel suların kaplamaya sızmasının önüne geçilebilir ve yüzey düzgünlüğü ile sürüş konforu da sağlanmış olur (Tunç 2004). Taban zemini ise, sıkıştırılmış doğal zeminden meydana gelir. Taban zemini yapısal olarak en önemli tabakadır. Üstyapıdan gelen yükler son olarak bu tabakaya iletilir. Bu tabakanın fonksiyonunu yerine getirebilmesi için iyi bir drenaja ihtiyacı vardır (Karaşahin 1993). Şekil 2.2’de tipik bir esnek üstyapı en kesiti verilmiştir.



Şekil 2.2 Tipik Bir Esnek Üstyapı En Kesiti.

2.1.1 Taban Zemini

Bir esnek üstyapının davranışı taban zemininin taşıma gücü ile doğru orantılıdır. Bu sebeple taban zemini doğrudan üstyapıyı etkilediği için taban zemini şartnamelere uygun bir şekilde hazırlanmalıdır (Umar ve Ağar 1985).

2.1.2 Temel Tabakaları

Temel tabakaları, kaplama tabakasının hemen altında bulunan ve bir çeşit temel görevini üstlenen üstyapı elemanıdır. Kaplama tabakasına göre daha az gerilmeye maruz kalırlar. Fakat taban zemini yani sıkıştırılmış zemine göre daha çok gerilmeye maruz kalacaklarından dolayı, kaplama tabakasına göre daha düşük stabiliteye sahip, sıkıştırılmış zemine göre ise daha kaliteli ve mukavemetli olarak yapılmaları gerekir (Tunç 2004).

Temel ve alttemel tabakalarının görevleri şunlardır:

- Kaplamadan gelecek olan yükleri zemine yaymak,
- Deformasyonlara karşı dirençli olmak,
- İyi bir drenaja sahip olmak,
- Zeminin hacim değişikliklerine karşı koyabilmek,
- Don etkisinin meydana getireceği zararlı etkileri önlemek,
- Kaplama inşaatının maliyetini düşürmek ve hızlandırmak,
- Asfalt tabakasının inşası için düzgün bir yüzey oluşturmak,
- Uzun süreli oturmalarda esnek bir yapı oluşturmak.

Çizelge 2.1 Temel / Alttemel Tabakaları Gradasyon Limitleri (KGM 2006).

Elek		Alttemel Tabakası		Mekanik Stabilizasyon Temel Tabakası			PMT Tabakası		ÇBGT Tabakası
inch	(mm)	Tip-A	Tip-B	A	B	C	Tip-I	Tip-II	
3"	(75)	100	-----	-----	-----				
2"	(50)	-----	100	100	-----				
1 1/2"	(37,5)	85-100	80-100	80-100	100		100		100
1"	(25)	-----	60-90	60-90	70-100	100	72-100	100	72-100
3/4"	(19)	70-100	-----	-----	60-92	75-100	60-92	80-100	60-92
3/8"	(9,5)	45-80	30-70	30-70	40-75	50-85	40-75	50-82	40-75
No 4	(4,75)	30-75	25-60	25-55	30-60	35-65	30-60	35-65	30-60
No 10	(2,00)	-----	15-40	15-40	20-45	25-50	20-45	23-50	20-45
No 40	(0,425)	10-25	10-20	8-20	10-258	12-30	8-25	12-30	8-25
No 200	(0,075)	0-12	0-12	2-8	0-12	0-12	0-10	2-12	0-10

Temel ve alttemel tabakaları için seçilecek agrega boyutları karayollarınca belirlenen sınırlar çerçevesinde seçilmelidir. Çizelge 2.1’de temel ve alttemel tabakaları için gerekli olan gradasyon limitleri verilmiştir.

2.1.2.1 Alt Temel Tabakası

Alttemel tabakası, taban zemini ile temel tabakası arasında kalan sıkıştırılmış daneli malzeme veya uygun bir bağlayıcı malzeme ile stabilize edilmiş bir tabakadır (Hatipoğlu 1998). Trafik yüklerinden meydana gelen gerilmelerin taban zeminine yayılmasını sağlamak, ince daneli altyapıların temel tabakasına nüfuz etmelerini engellemek üzere inşa edilir. Ayrıca su ve don etkilerine karşı tampon bölge görevini üstlenmektedir (İlcalı vd 2001).

Alttemel, üstteki tabakalara göre daha az gerilmelere maruz kaldığından dolayı düşük kaliteli fakat yer altı suyunu uzaklaştırma yeteneği yüksek olan granüler malzemelerden yapılmaktadır (Tunç 2001). Alt temel tabakası, yol üstyapısında üniform ve kararlı dayanıklılık sağladığından dolayı hem serbestçe suyu süzer hem erozyona karşı direnir. Aksi halde pompaj olayı meydana gelir. Erozyon ve pompaj olayından sonra çatlak ve derz yerleri altında malzeme kaybı oluşabilir ve yol üstyapısını oluşturan tabakalarda boşluk meydana gelir. Bu olay daha çok çatlak oluşmasına derz yerlerinin bozulmasına neden olup, yol üstyapısının dayanıklılığını kaybetmesine yol açar (Dallas 1995).

Alttemel tabakası belirli bir granülometride hazırlanan agreganın su ile karıştırılarak tesviye yüzeyine serilmesi ile oluşturulur. Alt temel tabakasının yapımında kullanılacak olan, kum, çakıl, kırmataş ve benzeri malzemede tayin edilecek granülometri Çizelge 2.2’de verilen limitlere uygun olmalıdır (AASHTO 1974).

Malzemenin 0,075mm eleği geçen kısmı 0,425mm eleği geçen kısmının 2/3 ünden fazla olmamalıdır. Alttemel yapımında kullanılacak olan malzemede aranan fiziksel özellikler ise Çizelge 2.3’de verilmiştir (İlcalı 1988).

Çizelge 2.2 Alttemel Tabakası Granülometri Limitleri (İlçalı 1988).

Eleke Açıklığı		% Geçen
mm	inç	
75	3	100
37,5	1 1/2	85-100
9,5	3/8	45-100
4,75	No 4	25-85
0,425	No 40	7-40
0,075	No 200	0-12

Çizelge 2.3 Alttemel Malzemelerinin Fiziksel Özellikleri (İlçalı 1988).

Deney Adı	Deney Metodu			Sınırlamalar
	AASHTO	ASTM	TS	
Na ₂ SO ₄ Sağlamlık	T-104	C-88	-	Kayıp ≤ %25
Los Angeles Aşınma (%)	T-96		3694	Aşınma ≤ %50
Likit Limit	T-89	D-423	1900	LL ≤ 25
Plastisite İndeksi	T-90	D-424	1900	PI ≤ 6
CBR	T-193	D-1883	1900	CBR ≥ 30

Alttemel malzemesi, tesviye edilmiş taban zemini üzerine, kalınlığı 20 cm' i aşmayacak şekilde tabakalar halinde serilir ve sıkıştırma işlemi yapılır. Fakat sıkıştırma işlemi için kullanılan makinelerin kapasiteleri çok fazla ise tabaka kalınlığı 30 cm' ye kadar çıkartılabilir. Alt temel kalınlığı 30cm' den fazla olursa, alt temel birden fazla tabakalar halinde inşa edilir ve bu durumda tabakaların kalınlıkları eşit alınır. Tabakalar üzerine yenisi serilmeden gerekli yoğunluğa getirilerek sıkıştırma işlemi yapılmalıdır. Alt temel serilmesi ve tesviye edilmesi esnasında, bulunan optimum su muhtevası (AASHTO, T-99 veya T-180 metodu ile) + 2 tolerans limitleri dahilinde uygulanır (İlçalı 1988).

2.1.2.2 Temel Tabakası

Temel tabakası, kaplama tabakasından gelen yükleri ve ortaya çıkabilecek ek gerilmeleri karşılamaktadır. Bu sebeple yol üstyapısına gelen yüklerin dağılımında önemli görevler üstlenir (Salter 1988). Alttemel ve taban zeminine gelecek olan basınç gerilmelerini belirli bir seviyeye düşürmek ve esneklik sağlayarak kaplamanın kırılmasını önlemek gibi fonksiyonu vardır (Sağlık, Güngör 2006).

Kaplama tabakasının hemen altına inşa edilen, daneli veya uygun bir bağlayıcı ile işlem görmüş malzemelerden hazırlanan bir tabakadır. Temel tabakasının en önemli görevi, kaplama tabakasına destek olarak üstyapının yük taşıma kabiliyetini arttırmaktır. Trafik yüklerinden meydana gelebilecek kayma gerilmelerine karşı direnebilmeli ve yüksek nem oranına karşı dengesini yitirmemelidir. Ayrıca temel tabakası, drenaja yardımcı olur ve böylece don etkisine karşı da ek bir koruma sağlar (Ağar ve Umar 1985).

Temel tabakası olarak Şekil 2.1’de de gösterildiği gibi, kırmataş temel, plentmiks temel, penetrasyon makadam temel, asfaltlı makadam temel, sıcak bitümlü temel ve çimentolu temel türlerinden birisi kullanılabilir.

2.1.3 Kaplama Tabakaları

Kaplama tabakası, üstyapının trafik yüklerine doğrudan maruz kaldığı en üst tabakasıdır. Esnek yol üstyapısında en üst katman olmalarından ötürü gerilmeler, deformasyonlara ve çevre etkilerine daha fazla maruz kalırlar. Bu sebeple temel ve alt temel tabakalarına göre daha stabil olmak zorundadır. Trafik yüklerinden dolayı meydana gelen basınç ve çekme gerilmelerinin maksimum seviyede olduğu kaplama tabakası, üstyapının en yüksek elastisite modülüne sahip tabakası olmalıdır.

Kaplama tabakasının görevleri şunlardır (Tunç 2004):

- Trafiğin sebep olduğu deformasyona dirençli olmak
- Temel tabakalarına iletilen basınç ve kayma gerilmelerini azaltmak
- Geçirimsiz olmak, böylece üstyapının alt tabakalarını korumak

- Düzgün ve emniyetli bir sürüş sağlamak
- Yolu kalıcı deformasyonlara karşı korumak
- Üstyapının mukavemetine katkıda bulunmak

Kaplama tabakası genellikle bitüm ve agrega karışımı ile elde edilen malzemelerden yapılıdır. Bu tür kaplamalar üstte aşınma ve binder tabakası olmak üzere iki tabaka halinde inşa edilirler. Ancak trafik yükünün az olduğu yollarda kaplama tabakası olarak sathi kaplama kullanılabilir (Sağlık, Güngör 2006).

2.1.3.1 Asfalt Betonu Kaplamalar

Asfalt betonu, aşınma tabakasından veya binder tabakasından meydana gelen veya her ikisinin birden bulunduğu kaplama şeklidir. Asfalt betonu, ince agrega, kırılmış ve elenmiş kaba agrega ve mineral fillerin belli gradasyon limitleri arasında, bitümlü bağlayıcı ile birlikte bir plentte belirli şartlarda meydana getirilen yüksek kaliteli bir sıcak karışımdır (Dolgun 2003).

Beton asfalt tabakalar aşağıdaki fonksiyonları yerine getirmelidir (Tunç 2004):

- Sürüş konforu ve taşıt işletme giderleri açısından düzgün ve pürüzsüz yüzeylere sahip olmalıdır.
- Sürüş emniyeti açısından alıymanda, kurbda ve dik eğimlerde yeterli sürtünme direncine sahip olmalıdır.
- Trafik ve çevre etkilerine yani düşük ısı çatlağı, asfaltın soyulması, agreganın cilalanması, vb. kaplama kusurlarına karşı dirençli olmalıdır.
- Kalıcı deformasyon yapmadan trafik yüklerini alt tabakalara ve zemine emniyetle yayabilme yeteneğine sahip olmalıdır.
- Tekrarlı ağır trafik yüklerine karşı yeterli yorulma mukavemetine sahip olmalıdır.
- Kalıcı deformasyonlara karşı dirençli olmalıdır.
- Yüzeysel yağmur sularının teme ve zemine sızmasını önleyecek kadar geçirimsiz olmalıdır.
- Yüksek dolgulu kesimlerde uzun dönemli oturmalara uyum sağlayacak esnekliğe sahip olmalıdır.

- Ağır trafik yükleri altında geçici deformasyon yapabilecek esnekliğe, ama yorulma mukavemeti için gerekli rijitliğe sahip olmalıdır.

Çizelge 2.4'te binder tabakası, Çizelge 2.5'te aşınma tabakası için gerekli olan gradasyon limitleri verilmiştir.

Çizelge 2.4 Binder Tabakası için Gradasyonlar (Keçeciler vd.,1990).

Elek Açıklığı	TİP 1	TİP 2	TİP 3
1"	100	100	100
3 / 4"	82-100	82-100	77-100
1 / 2"	68-87	63-81	59-77
3 / 8"	60-79	54-72	49-66
No 4	46-65	40-58	34-52
No 10	34-51	28-45	23-39
No 40	17-29	14-25	11-22
No 80	9-18	8-16	7-14
No 200	2-7	2-7	2-7

Çizelge 2.5 Aşınma Tabakası için Gradasyonlar (Keçeciler vd., 1990).

Elek Açıklığı		TİP 1	TİP 2	TİP 3	TİP 4
mm.	inch				
19	3 / 4"	100	100	-----	-----
12,5	1 / 2"	84-100	77-100	100	100
9,5	3 / 8"	75-91	66-84	87-100	80-100
4,75	No 4	57-75	46-66	66-82	55-72
2,00	No 10	42-59	30-50	47-64	36-53
0,425	No 40	22-35	11-28	24-36	16-28
0,180	No 80	12-22	7-18	13-22	8-16
0,075	No 200	4-10	4-10	4-10	4-10

2.1.3.2 Sathi Kaplamalar

Sathi kaplamalar, granüler malzemeden oluşturulmuş temel ve alttemel üzerine oturur. Hareketli yük taşıma kapasitesi bulunmayan, yol yüzeyinde düzgün yuvarlanma, yeterli kayma sürtünme katsayısı sağlayan ve yüzeydeki suların alt tabakalara ulaşmasını engelleyen bir kaplama türüdür (Ağar ve Karaşahin 2004).

Sathi kaplamaların yapımında önce yol yüzeyine ince bir film halinde asfalt, katran veya her ikisinin karışımı serilir. Sonra bu ince film yüzey üzerine tabaka halinde agrega serilir. Bu kaplamalar en basit ve ucuz kaplama şeklidir. Sathi kaplamaların performansını etkileyen faktörler arasında, trafik, mevcut yol yüzeyi, kullanılan mıcırın büyüklüğü ve tipi, bağlayıcı, bağlayıcının yayılma oranı ve çevresel etkiler sayılabilir.

Sathi kaplamalar 5 gruba ayrılırlar.

- Tek tabaka bitümlü sathi kaplama
- Çift tabaka bitümlü yüzeysel kaplama
- Penetrasyon makadam satıh tabakası
- Rolled asfalt kaplama
- Bitümlü makadam satıh tabakası

2.2 Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulma Türleri Ve Nedenleri

2.2.1 Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulma Nedenleri

Genel olarak yol üstyapısında meydana gelen bozulmalar; fonksiyonel bozulma ve yapısal bozulma olmak üzere iki türlü olarak tanımlanır. Fonksiyonel bozulmada, kaplama için amaçlanan fonksiyonlar zamanla işlevini yerine getiremez. Yapısal bozulma ise, kaplama bileşenlerinin bir veya birkaçının kırılmasını, göçmesini veya bozulmasını ifade eder (Wagberg 1994).

Yol sonsuz uzunlukta bir yapıdır. Yolun sonsuz olması sebebiyle, bozulma nedenleri sürekli olarak değişim göstermektedir. Yolu etkileyen hususlar arasında, zemin yapısı,

nem oranı, iklim ve trafik sayılabilir (Ilıcalı vd 2001). Bir yol ne kadar kaliteli yapılırsa yapılırsa, belli bir süre sonra çevresel etkilerden dolayı bozulmaya başlar. Çizelge 2.6'da bazı etkilerden dolayı yol üstyapısında meydana gelen bozulmaların nedenleri başlıklar altında incelenmiştir.

Çizelge 2.6 Asfalt Kaplama Kusurları ve Nedenleri.

Kusurlar	Yapısal Bozulmalar	Karışım Kompozisyonu	Isı Veya Rutubet Değişimi	Yapım Hataları
Timsah Sırtı Çatlak	√			
Kenar Çatlağı	√		√	√
Yansıma Çatlağı			√	
Büzülme Çatlağı		√		√
Ötelenme Çatlağı	√			√
Teker İzi	√	√		√
Öndülasyon	√	√		√
Çökme			√	
Kabarma / Şişme	√	√	√	√
Çukur		√		√
Sökülme / Parçalanma		√		√
Terleme / Kasma		√		
Agrega Cilalanması		√		√
Agrega Kaybı		√		√

2.2.1.1 Tasarım Hataları

Esnek yol üstyapısı tasarımı, diğer inşaat mühendisliği tasarımlarından farklıdır. Esnek yol üstyapı tasarımı dışındaki yapılarda yapı maksimum yük altında deformasyona uğramıyorsa o zaman yapı kullanılacağı ömür boyunca sağlam kalacaktır. Fakat esnek yol üstyapısı için bu düşünülemez. Çünkü yol üstyapısı zamanla hızlı bir deformasyona maruz kalır. Bu deformasyonlar sonucu bozulmalar meydana gelir (Fwa, 2006).

Üstyapı tasarımında, arazi şartlarının dikkate alınmaması, trafik tahminlerinin yanlış yapılması, tecrübesizlik, özellikleri bilinmeyen bağlayıcı kullanmak, var olan agregada gradasyon eğrisi yerine herhangi bir deneye tabi tutulmayan yeni agregada gradasyon

eğrilerinin kullanılması, otoritelerce kabulü yapılmamış amprik formüller kullanmak ve hesaplardaki yanlışlıklar karşılaşılan hatalardandır (Turan 2002).

Esnek üstyapılar iyi projelendirilmezlerse; taban zemininde veya üstyapı katmanlarından birinde oluşacak gerilmelerin, malzemenin sınır gerilme değerini aşması ve iç dengenin bozulması sonucu kaymalar meydana gelir. Ayrıca yine taban zemini veya üstyapı katmanlarından birinde yüksek basınç gerilmeleri ve rutubet oranındaki önemli değişimler sonucu, oldukça büyük oturmalar oluşur ve üst tabakanın oturmalara uyamaması sonucu çatlak ve kopmalar meydana gelir (Saltan ve Sezgin 2004).

2.2.1.2 Yapım Hataları

Yolun inşası ilk olarak yol gövdesinin oluşturulması ile başlar. Yol gövdesinin oluşturulması esnasında taşıma gücü zayıf zeminlerin iyileştirilmesi gereklidir. Bunun yanında yapım esnasında hava sıcaklığı dikkate alınmaz ise yapım hataları ortaya çıkabilir. Tabaka kalınlıklarının şartnameye uygun yapılmaması, yeterli drenajın sağlanamaması, agrega ve bitümlü malzemenin yanlış seçimi, sıkıştırmanın uygun şekilde yapılmaması ve kalitesiz kullanılması yapım hataları kapsamındadır.

Üstyapıda kullanılacak olan agreganın temiz, sağlam ve tasarımda kullanılan şartnameye uygun granülometriye sahip olması gerekir. Yüksek oranda agrega içeren, çürük, kirli, çabuk cilalanan, iyi seçilmemiş ve kontrol edilmemiş granülometrilik agrega kullanılmamalıdır. Bitümlü bağlayıcıda hesaplanan tasarım oranları dahilinde kullanılmalı, az yada fazla olmamalıdır.

2.2.1.3 Bakım Hataları

Karayolunun gövde, kaplama, sanat yapıları ve diğer tesisleri zamanla farklı nedenlerden dolayı bozulmaya başlarlar. Bunların bozulmaya başlamasıyla birlikte bakım çalışmalarının hemen yapılması gereklidir. Aksi takdirde onarımın gecikmesiyle beraber bozulma miktarı da artmaktadır. Ayrıca kış aylarında uygun yapılmayan kar ve buz mücadelesi de bakım hatalarını meydana getirir. Kar ve buz ile mücadelede

aşındırıcıların ve tuzun gereğinden fazla kullanılması kaplamanın bozulmasına sebebiyet verir ve yoldaki drenaj tesislerinin tıkanmasına neden olur. Yine fazla tuz kullanımı da agrega veya bitümlü bağlayıcıyı olumsuz yönde etkiler.

Bakım hatalarından biri olan drenaj sisteminin işlevini yitirmesi durumuna seyirci kalmamak gerekir. Bu sebeple drenaj sistemleri, hendek ve kanallar, sanat yapıları sürekli kontrol altında tutulmalıdır ve tıkanmış ise bu durum için gerekli işlemler yapılmalıdır.

Ayrıca yol kenarlarında bulunan banketlerin de bakımı düzenli bir şekilde yapılmalıdır. Çünkü banketler trafik emniyeti ve kaplama ömrü bakımından çok önemlidir. Banket bakımı ihmal edildiği takdirde kaplama ile banket yüzey sularının dış ortama akamayışı sebebiyle banket ile kaplama birbirinden ayrılır ve kaplama kenardan ortaya doğru bozulmaya başlar.

2.2.1.4 Çevre ve İklim Etkileri

Viskoelastik özellik sıcaklık ile doğrudan bağlantılıdır. Yol yapımında kullanılan bitüm de viskoelastik malzemedir ve sıcaklık ile doğrudan ilişkilidir. Kış aylarında agreganın bağlayıcıya yapışması için düşük viskoziteli bağlayıcı kullanılır, fakat havaların ısınması ile birlikte yumuşama sonucu bozulmalar meydana gelir. Ayrıca don etkisinin görüldüğü bölgelerde üstyapının davranışı don penetrasyon derinliği ile yakından ilgilidir. Bu derinlik arttıkça bozulmanın meydana gelme olasılığı da artar.

Drenajın çevre ve iklim şartları içerisinde etkisi büyüktür. Drenaj sistemleri yardımı ile yağmur ve kar sularının üstyapıdan uzaklaştırılması gereklidir. Kil ve silt gibi zeminlere su nüfuz ettiği büyük hacim değişikliği gösterirler. Bu hacim değişikliği sonucu kabarmalar olur ve bu kabarmaların sonucunda üstyapıda kırılma ve dağılmalar görülür. Yağışlardan sonra oluşan yüzeysel sular kaplama ve banket ile yarma ve dolgu şevlerinin erozyonuna sebep olur (Umar ve Yayla, 1992).

2.2.1.5 Aşırı Dingil Yükleri

Ülkemizde yolcu taşımacılığının %95'i karayolu, %3 ile %4'ü demiryolu ve %1 ile %2'si diğer ulaşım türleri ile sağlanmaktadır. Yük taşımacılığının ise %89'u karayolu, %5'i demiryolu ve %4,5'i denizyolu ile sağlanmaktadır (Tunç T 2004). Bu verilere bakıldığında karayolunun, yolcu ve yük taşımacılığının büyük bir kısmını üstlendiği görülmektedir.

Üstyapının bozulmasında en önemli etkenlerden birisi denetimsiz seyreden aşırı yüklenmiş kamyonlardır. Ülkemizde yollar çoğunlukla 8.2 ton tek dingil yüküne göre tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Fakat yapılan yollarda hiçbir iyileştirme yapılmadan tek dingil yükü önce 10 ton'a, daha sonra ise 13 ton'a çıkarılmıştır. Farklı dingil yüklerinin standart dingil yüküne oranla esnek yol üstyapısına verdiği zarara "eşdeğerlik faktörü" ya da "zarar faktörü" denilmektedir. AASHTO yol deney sonuçlarına göre zarar faktörü aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Çakıroğlu 1996).

$$E.F = \sum_{i=1}^n \left| \frac{L_i}{8.2} \right|^\alpha$$

E.F: Taşıtın Eşdeğerlik Faktörü

L_i : Dingil Yükü

\dot{I} : Taşıtın Dingil Sayısı

α : Yol üstyapısının servis yeteneğine göre değişen bir katsayı

α katsayısı Türkiye koşulları için 4.4 olarak alınmaktadır.

Bu hesaba göre geçen araç sayısına göre farklı dingil yüklü araçların yol ömründe görülen azalma Çizelge 2,7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7 Ağır Dingil Yükleri Sonucu Yol Ekonomik Ömründe Görülen Azalma
(Arık 1998).

Geçen Araç Sayısı(adet)	Aks Yüğü (ton)	Yolun Ömrü (yıl)
1000	8	20
1000	9	11,9
1000	10	7,5
1000	11	5,0
1000	12	3,4
1000	13	2,4
1000	14	1,7
1000	15	1,3

2.2.2 Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulma Türleri

2.2.2.1 Çatlaklar

Yol üstyapısında oluşan çatlakları trafiğe bağlı çatlaklar ve trafiğe bağlı olmayan çatlaklar olmak üzere iki gruba ayırabiliriz.

Trafiğe bağlı olan çatlaklar, aşırı dingil yüklerinden ve yük tekrarından oluşmaktadır. Kaplama tabakası belirli bir mukavemete sahiptir. Eğer dingil yüklerinin kaplama tabakasında meydana getirdiği gerilmeler kaplama malzemesinin mukavemetini aşarsa çatlaklar meydana gelir. Bunun yanında araçların aniden hızlanmaları ve yavaşlamaları sonucunda ortaya çıkan yatay kuvvetler de çatlaklara sebebiyet verebilir.

Bu etkilerin haricinde dış etkenler tek başlarına veya trafik etkisiyle beraber çatlaklara neden olabilirler. Bunlar;

- Sıcaklık değişimleri, su emme kabiliyeti yüksek agrega kullanımı, asfalttaki uçucu maddelerin buharlaşması,
- Nem ve sıcaklık değişimleri, alt tabakalarda kireçle stabilizasyonu yapılırken ya da çimento ile kür olurken doğan hacim değişiklikleri

Asfaltın çekme mukavemeti de çatlak oluşumunda önemli rol oynar. Çekme mukavemeti, soğuk havalarda artarken, yavaş yüklemelerde düşmektedir. Trafik ve hacim değişiklikleri dışında çatlama neden olan hususlar;

- Fazla miktarda yük tekrarı (yorulma)
- Kaplama tabakasının yetersiz kalınlığı
- Kaplama altındaki tabakaların yetersiz kalınlığı
- Kaplama altındaki tabakaların yüksek deformasyon sebebiyle malzeme dağılımı, ayrışımı
- Yetersiz yapılmış olan drenaj
- Don etkilerine karşı duyarlı olan temel ve alttemel malzemeleri
- Kaplama ve banketlerdeki nem farkları
- Banketlerin yetersizliği
- Araçların ani hızlanma veya yavaşlamalarından doğan yatay kuvvetler
- Karışım tipi kaplamalarda, yapım sırasında finişerin sık sık durması
- Yol kaplama yapımında (ek yerlerinin) derzlerin dikkatsiz yapılması (İlıcılı vd. 2001).

Çatlaklar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

Timsah Sırtı Çatlaklar; timsah derisini anımsatan bir şekilde ve birbirine bağlı çatlaklardır. “Bu tip çatlakların muhtemel oluşma sebepleri; taban zemini, alt temel ve/veya temel tabakalarının yetersiz sıkışması ve/veya yetersiz drenajı nedeni ile taşıma gücü yetersizliği, kaplamanın aşırı trafik yükleri altında yorulması, uygun olmayan malzeme kullanımı ve kötü yapım teknikleri, çevre ve iklim şartları sayılabilir” (Sağlık ve Güngör 2006). Resim 2.1’de üç farklı şiddette timsah sırtı çatlaklar gösterilmiştir.



a)



b)



c)

Resim 2.1 Şiddetlerine Göre Timsah Sırtı Çatlaklar a) Düşük b) Orta c) Yüksek.

“Enine çatlakların muhtemel oluşma sebebi, asfalt kaplamada çok düşük sıcaklıklarda meydana gelen büzülme, tabanda don etkisi ve su içeriği değişikliği, alt tabakalarda daha önce oluşan çatlakların yüzeye yansması, karışım içindeki bitümün sıcaklığa olan yüksek hassasiyeti sayılabilir” (Sağlık ve Güngör 2006). Resim 2.2’de şiddetlerine göre enine çatlaklar gösterilmiştir.



a)



b)



c)

Resim 2.2 Şiddetlerine Göre Enine Çatlaklar a) Düşük b)Orta c) Yüksek.

“Boyuna çatlakların muhtemel oluşma sebebi; dolgularda yetersiz sıkışma ve yetersiz drenaj nedeniyle oturma, dolgunun yanıl hareketi, çevre ve iklim şartları, üstyapının taşıma gücünün yetersiz oluşu ve bunun trafik yükü ile birleştirilmesi sonucu oluşan oturmalar, boyuna ek yerlerinin uygun inşa edilmeyişi sayılabilir” (Sağlık ve Güngör 2006). Resim 2.3'te şiddetlerine göre boyuna çatlaklar gösterilmiştir.



a)



b)



c)

Resim 2.3 Şiddetlerine Göre Boyuna Çatlaklar a) Düşük b) Orta c) Yüksek.

“Kenar çatlaklarının muhtemel oluşma sebepleri; Donma etkisi, kaplama kenarında yetersiz taşıma gücü ve/veya üstyapının kenarında aşırı trafik yüklemesi, üstyapı kenarında ve bankette yetersiz drenaj, üstyapı genişliğinin yetersiz olması nedeni ile trafiğin banket kenarına yakın seyretmesi sayılabilir”(Sağlık ve Güngör 2006). Resim 2.4’te şiddetlerine göre kenar çatlakları gösterilmiştir.



a)



b)

Resim 2.4 Şiddetlerine Göre Kenar Çatlakları a) Orta b) Yüksek.

“Blok çatlakların muhtemel oluşma sebepleri; şişme ve büzülme etkisi, donma etkisi, asfalt kaplamının yaşlanmasından dolayı sertleşmesi ve kırılması sayılabilir” (Sağlık ve Güngör 2006). Resim 2.5’te şiddetlerine göre blok çatlaklar gösterilmiştir.



a)



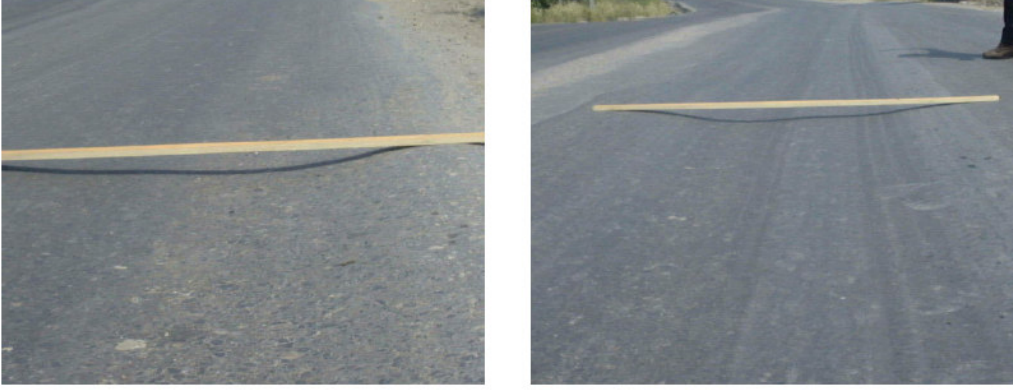
b)

Resim 2.5 Şiddetlerine Göre Blok Çatlaklar a) Orta b) Yüksek.

2.2.2.2 Tekerlek İzi Oluşumu

Tekerlek izi, taşıt tekerlerinin yola değdiği noktalarda yol boyunca oluşan düşey kalıcı deformasyonlar olarak tanımlanır. Ağır taşıt sayılarındaki artma, dingil ağırlıkların artırılması, çiftteker yerine tek fakat geniş tabanlı teker kullanımı ve lastik iç basınçlarının artması sonucu tekerlek izi büyük bir sorun haline gelmiştir. Tekerlek izi oluşumuna sebep olan faktörler; aşırı yükler, uzun süreli veya durağan yükler, yük tekrarları, malzeme seçiminin yanlış yapılması, tasarım ve yapım hataları olarak sayılabilir. Tekerlek izi oluşumu, yolun enine düzgünlüğünün bozulmasına sebep olur

ve ayrıca konfor ve güvenlik açısından da büyük bir sorun oluşturmaktadır. Çünkü, şerit değiştirme esnasında araç rahat kontrol edilememekte, yağışlı havalarda izin olduğu kısımlara su dolarak hatta suyun donması ile tekerin kaymasıyla beraber fren mesafesi uzamaktadır. Resim 2.6’da tekerlek izi olukları görülmektedir.



Resim 2.6 Tekerlek İzi Olukları (İskender 2004).

Tekerlek izi oluşumlarının 3 farklı şekli vardır. Bunlar;

Yapısal Tekerlek İzi: Bitümlü tabakanın altında bulunan ve taban zemini dahil olmak üzere, bir veya daha fazla tabakanın kendi içerisindeki deformasyonlarının sonucudur. Yapısal tekerlek izi oluşumunun nedeni, yüklemelerden meydana gelen gerilmelerin malzeme dayanımını aşmasıdır. Şekil 2.3’te görüldüğü gibi, bu tür tekerlek izi oluşumlarında tekerlek etrafında kabarmalar oluşmaz. Bu tip bozulmaların sebepleri arasında, gerçek trafik koşullarına uygun yapılmamış tasarım, uygun olmayan malzeme kullanımı, malzemenin iyi sıkıştırılmaması ve drenajın yetersiz olması sayılabilir.



Şekil 2.3 Yapısal Tekerlek İzi.

Akma Tekerlek İzi: Bitümlü tabaka veya tabakaların kendi içlerindeki deformasyonunun sonucudur. Akma tekerlek izi oluşumunun nedeni, yüklemelerden meydana gelen gerilmelerin bitümlü malzemenin stabilitesini aşmasıdır. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi tekerlek izinin olduğu kısımların etrafında kabarmalar meydana gelir. Bu tür tekerlek izleri, ağır taşıtların hızlarını azalttığı kısımlarda ve lastik ile kaplama arasındaki temas alanında ortaya çıkan teğetsel gerilmelerin yüksek olduğu kesimlerde oluşur.



Şekil 2.4 Akma Tekerlek İzi.

Konsolidasyon ve Yüzeysel Tekerlek İzi: Yüzeysel tekerlek izleri, kış aylarında çivili teker kullanımından dolayı kaplamanın üst yüzeyinde oluşan tekerlek izi şeklindedir. Bu tip tekerlerin verdiği hasarların farkına varıldıktan sonra kullanılması sınırlandırılmış ve

yasaklanmıştır. Bu tip tekerlek izi oluşumunda göz önüne alınacak parametre agrega sertliğidir. Yine bu grup içerisinde bulunan bir diğer tekerlek izi de, konsolidasyon tekerlek izi oluşumudur. Kaplama yapımındaki sıkıştırma işleminin yetersiz yapılmasından dolayı oluşur. Bu tip tekerlek izi oluşumlarında teker kenarlarında kabarma olmaz (Kutluhan ve Ağar 2004). Şekil 2.5'te konsolidasyon ve yüzeysel tekerlek izine bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Konsolidasyon ve Yüzeysel Tekerlek İzi.

2.2.2.3 Oturma ve Çökmeler

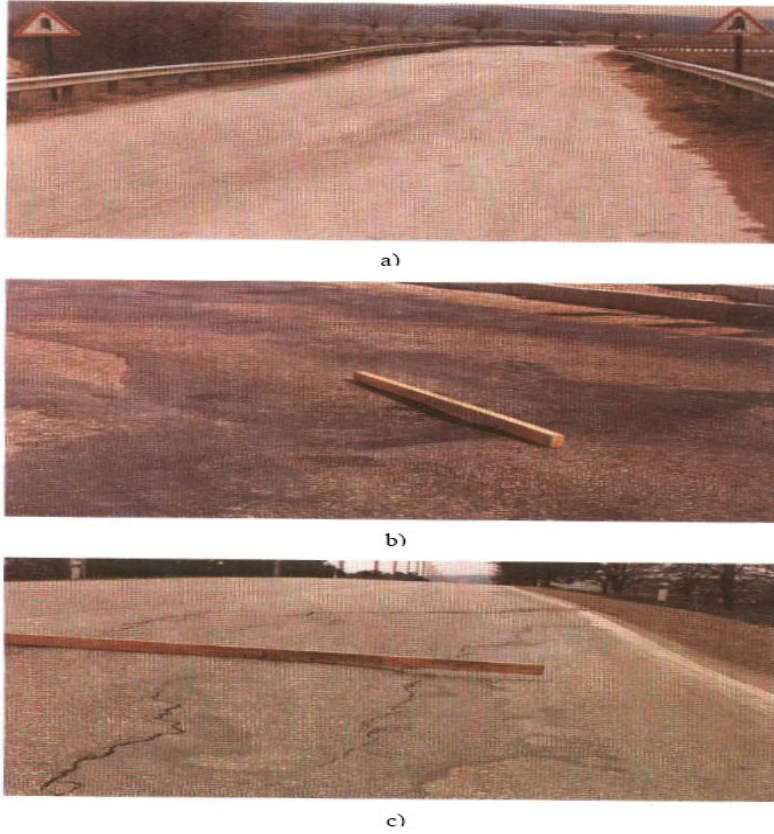
Oturmalar, bitümlü tabakalara bağlı olmayıp, üstyapının alt tabakalarında meydana gelen bozulmaların yüzeye yansımalarıdır. Oturmalar, yol orta çizgisi boyunca yada kenar şeritlerde uzunlamasına veya enlemesine meydana gelir. Oturma sırasında kaplama aynı şekli almaya çalışacak ve çatlamayacaktır. Oturmaların nedenleri şöyle sıralanabilir (Sağlık ve Güngör 2006);

- Alt tabakaların yetersiz kalınlığı
- Altyapıda meydana gelen oturmalar
- Banketlerin yetersizliği
- Yer altı su seviyesinin yüksekliği
- Yetersiz drenaj
- Temel ve alttemel malzemelerinin zeminden gelen kille karışması

Çökmeler, çatlakları içeren veya içermeyen ve kaplama sathına göre alçakta kalmış çukurlardır. Çökmeleri oturmalarından ayıran fark çökmelerin küçük ve dairesel alanlar halinde ortaya çıkmasıdır. Derinlikleri 2,5cm veya daha fazla olabilmektedir. Çökmeler zamanla genişlerler ve yolun tamamen bozulmasına sebep olurlar. Çökmelerin nedenleri şöyle sıralanabilir (Sağlık ve Güngör 2006);

- Temel ve alttemelin yetersiz olarak sıkıştırılması
- Kaplama tabakasının bir noktada yetersiz sıkıştırılması
- Yetersiz drenaj nedeniyle suyun temel altında birikimi
- Temel ve alttemel malzemelerinin kille karışması
- Kaplamanın taşıyabileceğinden daha ağır bir yüke maruz kalması

Resim 2.7’de şiddetlerine göre oturma ve çökmeler gösterilmiştir.

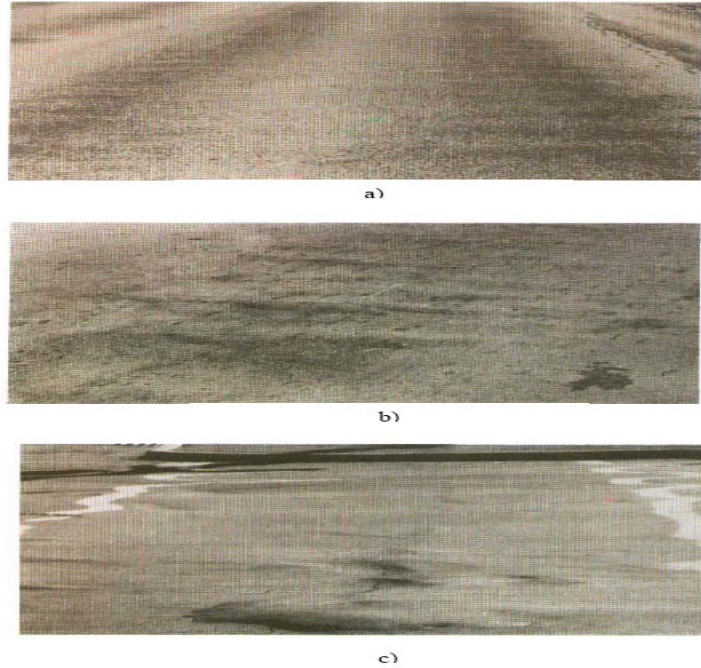


Resim 2.7 Şiddetlerine Göre Oturma ve Çökmeler a)Düşük b) Orta c) Yüksek.

2.2.2.4 Ondülasyon ve Yığılmalar

Yol yüzeyinde trafiğin akışına göre enine doğrultuda oluşan ve aralıkları yaklaşık olarak eşit olan ve dalgaya benzeyen sath deformasyonlarıdır. Ondülasyon ve yığılmalar plastik bir hareket sonucu oluşur. Ondülasyonlar asfalt karışım stabilitesinin yetersizliğine bağlı olan bozulma şeklidir. Yığılmalar ise plastik bir hareket sonucu asfalt kaplama sathında oluşan lokal tümsek ve şişkinliklerdir. Resim 2.8’de şiddetlerine göre ondülasyonlar gösterilmiştir. Ondülasyona ve yığılmalara sebep olan bazı etkenler şöyle sıralanabilir (Sağlık ve Güngör 2006);

- Asfalt karışımın serilesi sırasında oluşan serme ve sıkıştırma hataları
- Kavşak, trafik ışıkları ve duraklarda trafik yüklerinin durağanlaşması
- Üstyapı tabakaları arasındaki bağlantının yetersizliği
- Temel tabakasındaki stabilite bozukluğunun yüzeye yansımaları
- Ağır trafik altında suya doygun granüler tabakaların varlığı



Resim 2.8 Şiddetlerine Göre Ondülasyonlar a) Düşük b) Orta c) Yüksek(Yığılma).

2.2.2.5 Kabarmalar

Kabarmalar genel olarak taban zemininin veya üst tabakaların şişmesi sonucunda meydana gelir. Taban zemininin veya üst tabakaların şişmesi de don etkisiyle olur. Ayrıca şişme potansiyeli fazla olan killi tabanlarda kaplamada kabarmaya yol açabilirler. Taban zeminin şişmesi, suyun donması veya çözülmesinden ya da zeminin şişme karakterine sahip olmasından kaynaklanır. Temel ve granüler temel tabakalarında ise, tabakayı oluşturan malzemenin donmaya karşı duyarlı oldukları durumda şişme olur. Kaplamada oluşan kabarmaya bir örnek olarak Resim 2.9'da verilmiştir.



Resim 2.9 Kaplamada Kabarma Oluşumu.

2.2.2.6 Ayrılma, ayrışma ve Parçalanmalar

Asfalt tabakasında meydana gelen ayrılma, ayrışma veya parçalanmalar agreganın bağlayıcı olan bitümden hava ya da trafik etkisi ile ayrılması sonucu oluşur. Ayrıca kaplama tabakasının küçük parçalara ayrılması sonucu da yine agregalar dağılır. Bu grup içerisinde sökülme, çanak şekilli çukurlar, bağ eksikliği ve soyulma başlıca bozulma tipleridir. Bu bozulma tipine neden olan genel nedenler şöyledir (Ilıcalı vd 2001);

- Agregatanelerinin, trafiğin etkisi ile bitümden ayrılması,
- Karışım kalitesinin düşüklüğü,

- Sathi kaplamalarda bitüm ve mıcırın uygun aşınma tabakası oluşturmamaları,
- Bitüm yüzdesinin düşüklüğü,
- Karışım tipi kaplamalarda, filler yüzdesinin çok düşük yada yüksek oluşu,
- Kirli ve kalitesiz agrega kullanımı,
- Asfalt betonlu kaplamalarda, kaplama tabakasının ince olması,
- Kil malzemesinin tabandan üst katmanlara doğru yükselmesi,
- Yetersiz drenaj,
- Sathi kaplama ve bitüm tabakalarının soğuk ve yağışlı havada yapımı,
- Sıcak karışım tipi sath tabakaların yapımında, karışımın plentte fazla ısıtılması,
- Karışımın serilmesi veya nakliye sırasında ayrışma olması,
- Sath tabakası ile diğer tabakaların arasındaki bağ eksikliği,
- Su ve kil etkisiyle soyulmalar.

Resim 2.10'da ayrılma, ayrışma ve parçalanmalar sonucu oluşan çukurlara örnek gösterilmiştir.



a)



b)

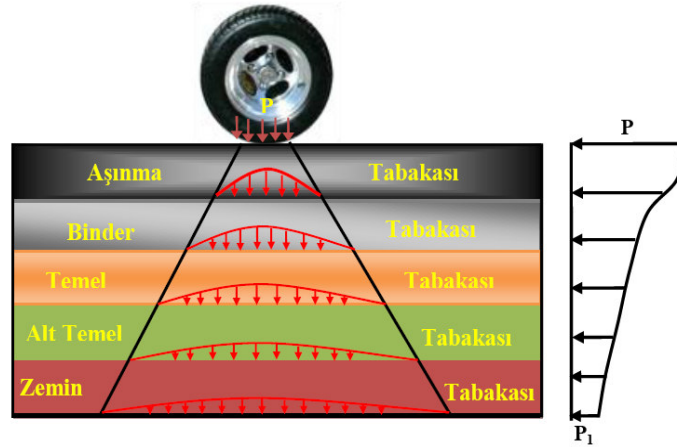
Resim 2.10 Şiddetlerine Göre Çukurlar a) Düşük b) Yüksek.

2.2.2.7 Cilalanma ve Kuma

Agregaların bazı tipleri özellikle kalker türleri, başlangıçta köşeli ve pürüzlü olsalar dahi zamanla trafiğin etkisi ile bu özelliklerini kaybederler ve cilalı bir hal alırlar. Bu hale gelmiş olan agregalarda doğal olarak kayma tehlikesi yaratırlar. Bir de bu olumsuzluğa ek olarak bu agregalar çevre etkileri ile ıslanırlarsa da tamamen kaygan bir hal alırlar. Kuma ise; asfalt karışım içindeki asfaltın, sıcaklık sebebiyle yüzeye çıkması ve yüzeyde kalın bir tabaka oluşturması ile meydana gelir. Kuma oluşuktan sonra agregalar asfalt ile kaplanarak yolun sürtünme katsayısı düşmektedir.

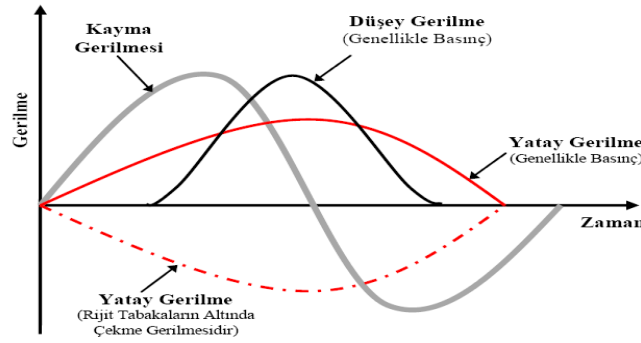
2.3 Esnek Yol Üstyapısında Meydana Gelen Gerilmeler

Esnek üstyapı tabakalı bir sistemdir ve karmaşık bir yapıya sahiptir. Her bir tabaka farklı davranışlar sergileyen malzemelerden meydana gelmektedir. Alttemel ve temel tabakaları nonlinear elastik davranış gösteren granüler malzemeden, aşınma tabakası ise sıcaklığa ve yüklemeye bağlı olan viskoelastik davranış gösteren bitümlü karışımlardan oluşur (Saltan 1999). Ve üstyapıda oluşan gerilmeler alt tabakalara inildikçe azalır. Bu gerilmeler Şekil 2.6'daki gibidir. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi en yüksek gerilmeye maruz kalan tabaka kaplama tabakasıdır. Kaplama tabakası binder ve aşınma tabakalarından meydana gelir. Bazı durumlarda kaplama tabakası sadece aşınma tabakasından oluşmaktadır. Bu nedenle kaplama tabakasının fiziksel ve mekanik özellikleri gerilmeleri karşılayabilecek nitelikte olmalıdır.



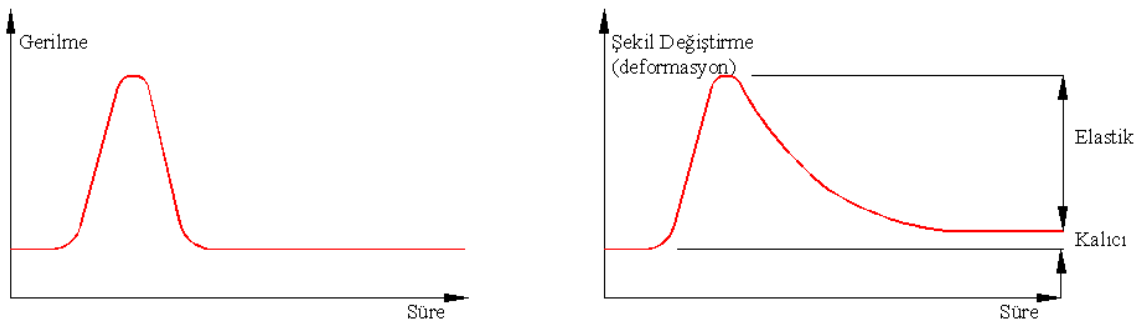
Şekil 2.6 Tipik Bir Yol Üstyapı Kesiti ve Gerilme Dağılımı (Çetin 2007).

Şekil 2.7’de ise hareketli bir dingil yükü tarafından oluşturulan gerilmeler gösterilmiştir. Bu grafik dinamik üç eksenli basınç deneyi sonucunda çıkarılmıştır. Bu deney ile yol üstyapısında meydana gelen gerilmeleri gerçeğe en yakın şekli ile uygulayıp gerilme durumlarını görmek mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, deney sonucunda çıkarılan grafiğin bir benzeri ANSYS bilgisayar programı yardımı ile de elde edilmiştir.



Şekil 2.7 Hareketli Dingil Yükü Tarafından Oluşturulan Gerilmeler (Lav ve Lav 2004).

Yol üstyapısının araç tekerlerinden oluşan tek bir yükleme sonucu gösterdiği tepki Şekil 2.8’de verilmiştir. Bu grafikten anlaşılacağı gibi kalıcı şekil değişimi çok küçük, elastik şekil değişiminin daha fazla olduğunu görmekteyiz. Fakat kaplamaya buna benzer milyonlarca dingil yükü tekrür eder ve kalıcı deformasyon miktarı artar (Lav ve Lav 2004).

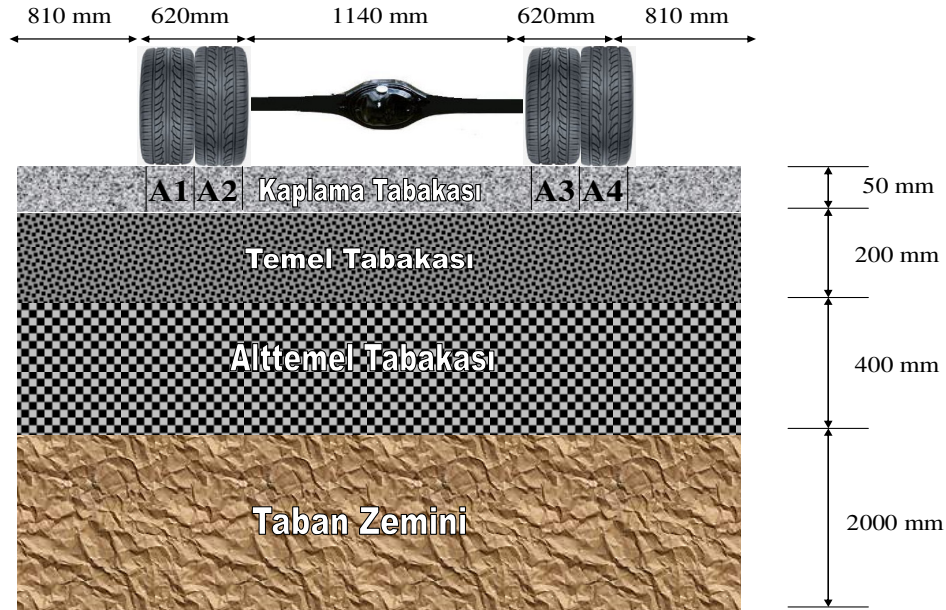


Şekil 2.8 Hareketli Tekerlek Yüküne Visko-Elastik Tepki (Lav ve Lav 2004).

3. MATERYAL VE METOD

3.1 Problemin Tanımı

Çalışmada, katmanlarda meydana gelen gerilme ve şekil değişimini elde edebilmek amacı ile sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Sonlu elemanlar metodunun uygulanması için de ANSYS bilgisayar yazılımı seçilmiştir. Esnek yol üstyapısı iki boyutlu olarak modellenmiştir. Oluşturulan modelde 4 katmanlı bir esnek üstyapı tasarlanmıştır. Kaplama tabakası 50mm, temel tabakası 200mm, alttemel tabakası 400mm ve taban zemini içinde 2000mm değerlerine göre geometrik model oluşturulmuştur. Şekil 3.1’de esnek yol üstyapısı en kesiti verilmiştir.



Şekil 3.1 Esnek Yol Üstyapısı En Kesiti.

Kaplama tabakası için yükleme ve sıcaklığa bağlı olan viskoelastik malzeme ve diğer 3 tabaka için ise elastik malzeme kullanılmıştır. Bu katmanlar için gerekli olan fiziksel özellikler (Elastisite modülleri, Poisson oranları ve yoğunlukları) Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Malzeme Özellikleri.

Malzeme	Elastisite Modülü(MPa)	Poisson Oranı	Yoğunluk (kg/mm ³)
Kaplama Tabakası	2100,2500,3000,3500	0.40	2.4e ⁻⁰⁰⁹
Temel Tabakası	600	0.40	2.2e ⁻⁰⁰⁹
Alt Temel Tabakası	100	0.30	2.2e ⁻⁰⁰⁹
Taban Zemini	30	0.40	2.2e ⁻⁰⁰⁹

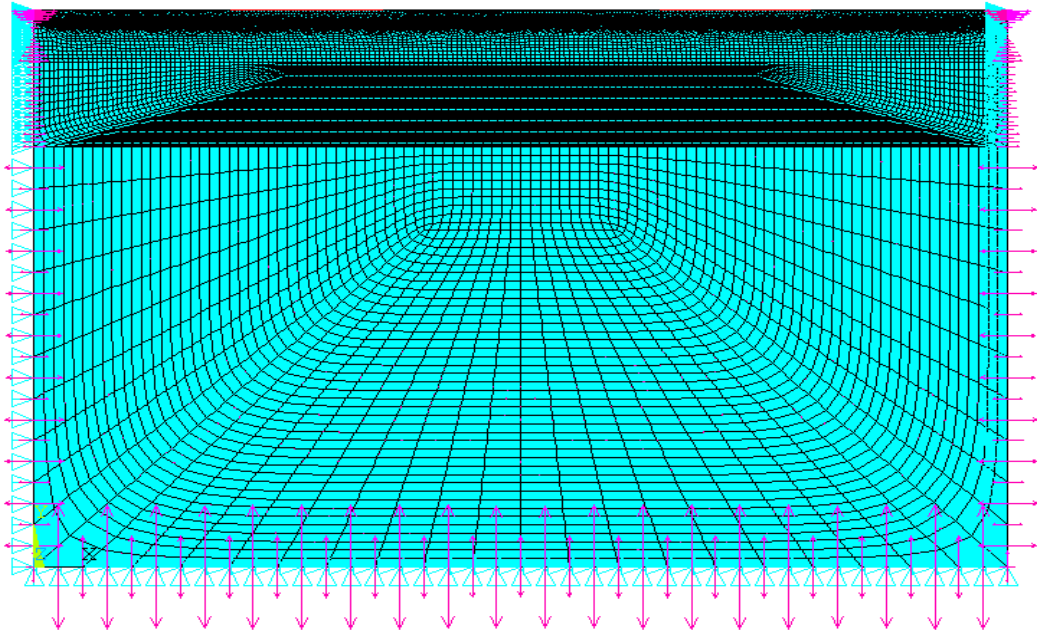
Viskoelastik malzemenin tanımı için ek olarak kayma modülü ve hacim modülü değerlerine ihtiyaç vardır. Kayma modülü ve hacim modülü değerleri de Çizelge 3.2'de verilmiştir. Bu değerler malzeme tanımı esnasında programa aktarılır. Çalışma sıcaklığı 20 ° C olarak girilmiştir.

Çizelge 3.2 Kayma ve Hacim Modülü Değerleri (Mulungye et. al. 2005).

Zaman (sn)	Kayma Modülü (MPa)	Hacim Modülü (MPa)
2.5	975	2113
5	917	1986
7.5	938	2033
10	937	2031
12.5	950	2058
15	960	2079
17.5	985	2134
20	972	2107
22.5	952	2063
25	920	1993
50	596	1292
75	585	1268
100	597	1293
125	601	1303
137.5	616	1334
237.5	539	1168
262.5	535	1158
287.5	542	1173
312.5	546	1183
337.5	562	1218
362.5	570	1234
387.5	567	1228
637.5	499	1082
887.5	401	869
1137.5	227	491
1147.5	212	459

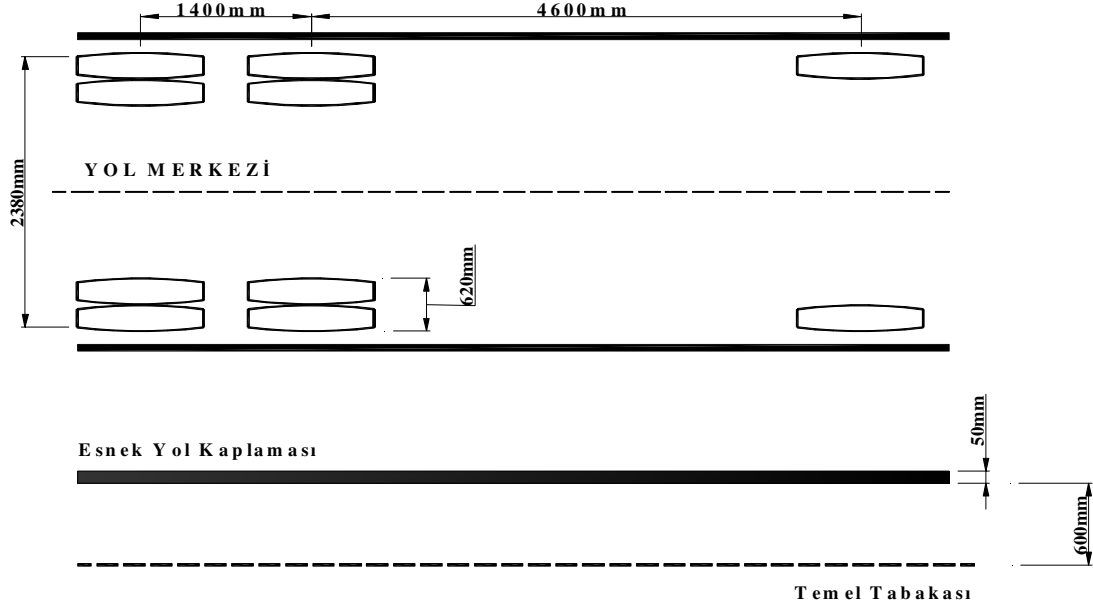
3.2 Sonlu Eleman Analiz Aşamaları

Model sonlu elemanlar yöntemiyle analiz için elemanlara bölünmüştür. Elemanlara bölündükten sonraki görünüşü Şekil...’deki gibidir. Sonlu eleman ağının en alt kısmındaki düğüm noktalarında hem düşey hem de yatay yönde harekete izin verilmemektedir (Ong et al 1991, Siddharthan et al 1991, Saltan 1999). Sonlu eleman ağının yanıl sınırlarında ise düşey yönde harekete izin verilirken yanıl harekete izin verilmemektedir (Ong et al 1991, Siddharthan et al 1991, Saltan 1999). Bu analizde de bu şartlar sağlanarak analiz yapılmıştır. Modelin sınır şartları da Şekil...’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.2 Sonlu Eleman Ağı

Esnek yol üstyapısına uygulanan yük dinamik bir yükleme olup gerçek hayattaki hareketli bir dingil yükün eşdeğeri bir şekilde yük uygulaması yapılmaya çalışılmıştır. Şekil 3.1’deki üstyapıya ait aynı en kesit çizgisine, Şekil 3.2’de dingil planı verilen ağır taşıt bir defaya mahsus olmak üzere etki ettirilerek, 3 farklı yükleme adımı ile alanlara dinamik bir yükleme yapılmıştır.



Şekil 3.3 Ağır Araç Dingil Planı.

Dinamik yük uygulaması da ANSYS programı içerisindeki, transient analiz modülü ile yapılmaya çalışılmıştır. 3 farklı yükleme adımı ile ön orta ve arka tekerler etki ettirilmiştir. Şekil 3.1'e göre ilk yükleme ön tekerler için yapılmıştır. Ön tekerler A1 ve A4 alanlarına uygulanmıştır. Orta ve arkada bulunan çifttekerler ise A1,A2,A3 ve A4 alanlarına etki ettirilmiştir. Yükleme için gerekli olan kuvvet ve alanlarla ilgili sayısal veriler de Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Yükleme Adımları.

Zaman (sn)	A1	A2	A3	A4	1.Yükleme (MPa)	2.Yükleme (MPa)	3.Yükleme (MPa)
0,000-0,001							
0,001-0,0015	X			X	0,660		
0,015-0,252							
0,252-0,266	X	X	X	X		0,637	
0,266-0,338							
0,338-0,352	X	X	X	X			0,630
0,352-0,450							

4. BULGULAR

Analiz sonucunda, esnek üstyapının kaplama tabakası için 4 farklı elastisite modülüne sahip ve 4 farklı kaplama kalınlığına sahip kaplama tabakaları ile ayrı ayrı analizler yapılmış ve bu analizler sonucunda üstyapıda meydana gelen gerilme değerleri grafiklerle gösterilmiştir.

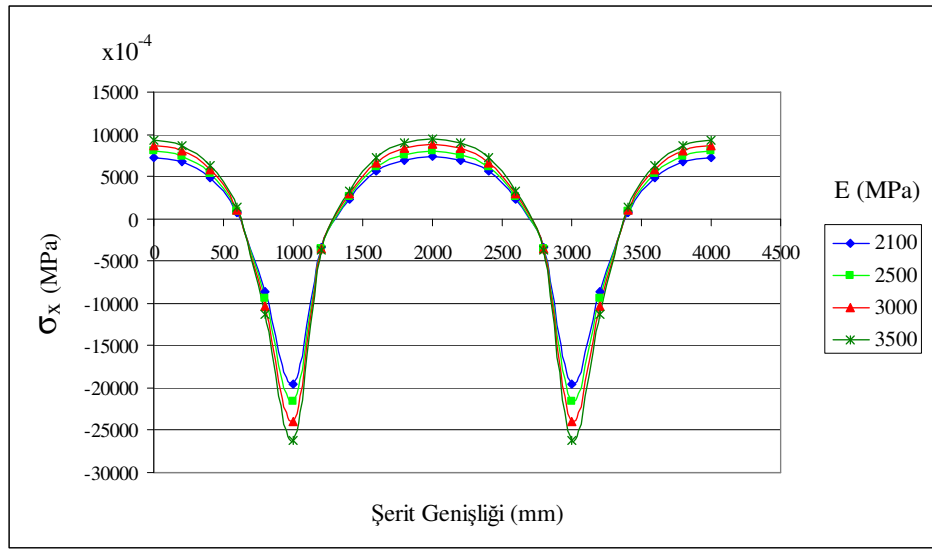
4.1 Asfalt Kaplamada Elastisite Modülü Değişimine Göre Üstyapı Gerilme Analizi

Malzemelerin uygulanan kuvvet neticesinde şekil değiştirmeye karşı koymasının oranına elastisite modülü denir. Diğer bir ifadeyle malzemenin elastik şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direnç veya rijitlik anlamına da gelir. Mekanik hareketleri etkileyen önemli bir değişkendir. Her malzemenin karakteristik bir elastisite modülü vardır (Onaran, 1999).

Bitümlü karışımlardan beklenen en önemli özelliklerin başında ise (esneklik) fleksibilite gelir. Esneklik, yolun alt tabakasındaki çökmelerden, bitümlü kaplama tabakasına geçecek genel deformasyona, bitümlü tabakaların, çatlamadan karşı koyabilme yeteneğidir. Şayet bitümlü karışımın esneklik özelliği yetersiz olursa zamanla yol yüzeyinde çatlamlar ve değişik bozulmalar meydana gelebilir.

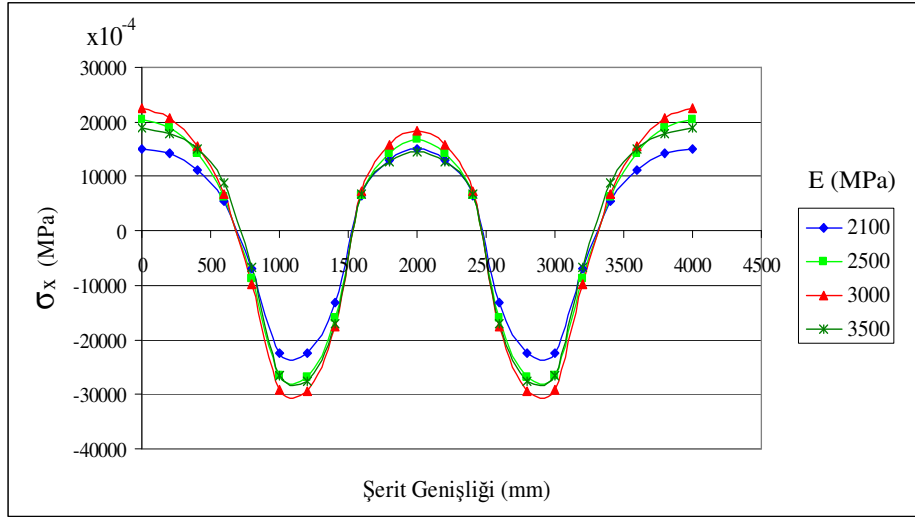
Esnek kaplamaların elastisite modülleri birçok parametreye bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Kaplamanın yetersiz sıkıştırılması, iklimin çok sıcak olması vb. nedenlerden dolayı elastisite modülü olması gerektiğinden daha düşük olabileceği gibi, sıcak karışımın sıkıştırılmadan önce veya sıkıştırma esnasında soğuması, fazla sıkıştırılması, yaşlanması vb. nedenler sonucu kaplama elastisite modülü tahmin edilenden daha yüksek olabilir. Bu gibi nedenlerin sonucunda kaplamadan üstyapıya yansıyan gerilmelerde de değişiklikler görülür ve kaplama bir takım bozulmalara maruz kalabilir. Şekil 3.1'de üstyapıya ait aynı en kesit çizgisine, Şekil 3.2'de dingil planı verilen ağır taşıt etki ettirilerek o kısımlarda meydana gelen X yönündeki gerilme değişimleri gösterilmiştir.

Buna göre 4 farklı elastisite modülü değerine sahip üstyapı kaplamalarından ağır taşıtın ön tekerleklerin geçişi esnasında en yüksek basınç ve çekme gerilmesinin 3500 MPa elastisite modülüne sahip kaplamada meydana geldiği Şekil 4.1'deki grafikten görülmüştür. Elastisite modülü düştükçe bu kısımdaki basınç ve çekme gerilmeleri de azalmıştır. Elastisite modülü yükseldikçe malzeme daha rijit bir davranış sergilemekte dolayısıyla daha yüksek gerilmeye maruz kalmaktadır. Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te görüleceği gibi ağır taşıtın tekerlerinin temas ettiği noktalarda basınç gerilmesi, tekerler arasında kalan bölgede ise çekme gerilmesi meydana gelmiştir.



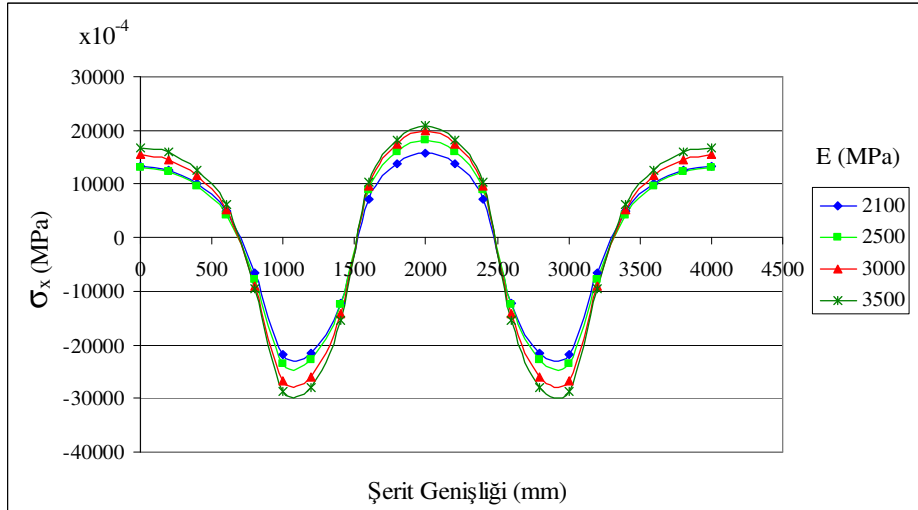
Şekil 4.1 İlk Yükleme (Ön Tek Teker) Anındaki X Yönlü Gerilme Grafiği.

Şekil 4.2'deki grafikte; Ağır taşıtın orta çift tekerlekli dingilinin geçişi esnasında daha rijit olan 3500, 3000 ve 2500 MPa elastisite modülüne sahip kaplamalarda hem basınç hem de çekme gerilmelerinde daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bununla birlikte ideal elastisite modülüne daha yakın olan 2100 MPa değere sahip elastisite modüllü asfalt kaplamadaki gerilme artışı daha düşük seviyede kaldığı görülmüştür



Şekil 4.2 İkinci Yükleme (Orta Çift tekerler) Anındaki X Yönlü Gerilme Grafiği.

Şekil 4.3'te üçüncü dingilin geçişi esnasında oluşturulan grafikte ise 2100 ve 2500 MPa elastisite modüllü kaplamalar daha ideale yakın davranış sergilerken, 3000 ve 3500 MPa elastisite modüllü kaplamalarda daha yüksek gerilmeler olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3 Son Yükleme (Arka Çift Tekerler) Anındaki X Yönlü Gerilme Grafiği.

Resim 3.1’de görüldüğü gibi yolun kesitinden çekilmiş bir resim, analizden çıkardığımız grafiklerle örtüşmektedir. Grafiklere bakıldığında 4 farklı elastisite modülü ile yapılmış olan analizlerden çıkan grafiklerde genel olarak elastisite modülü arttıkça basınç ve çekme gerilmelerinde bir artış meydana gelmiştir. Asfaltın elastisite modülü arttıkça kırılma özelliğinin artması beklenir. Yani asfaltın yorulmaya karşı dayanıklılığı azalır ve bunun sonucunda esnek yol üstyapısında kırılmalar meydana gelebilir. Elastisite modülünün çok yüksek olması asfaltın çok iyi bir malzeme olduğunu göstermez. Çünkü elastisite modülü arttıkça malzeme kırılma olabilir ve gerilme değerleri artar ve bunun sonucunda da yolda meydana gelen deformasyon artabilir. Elastisite modülünün çok düşük olması da yine olumsuz sonuçlar doğurabilir. Elastisite modülünün çok düşük olması sonucunda plastik şekil değiştirme çok fazla olabilir. Bunun sonucunda da asfalt üzerinde oluklanmalar oluşabilir. Elastisite modülünün çok düşük olması da oluklanmaya karşı dayanımı düşürebilir. Resim 3.2’de bir oluklanma örneği görülmektedir.



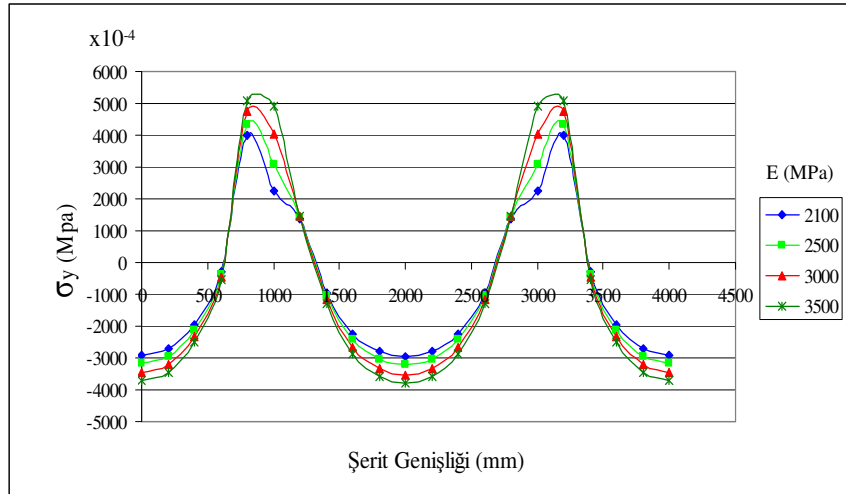
Resim 3.1 Bir Esnek Kaplamada
Meydana Gelen Deformasyon.



Resim 3.2 Bir tekerlek izi deformasyonu.

Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’deki grafikler de uygulanan araç yükü sonrasında, asfalt kaplamada elastisite modülü değişimine göre esnek yol üstyapısında meydana gelen y yönündeki gerilme değişimleri gösterilmiştir. Y yönünde meydana gelen yüksek

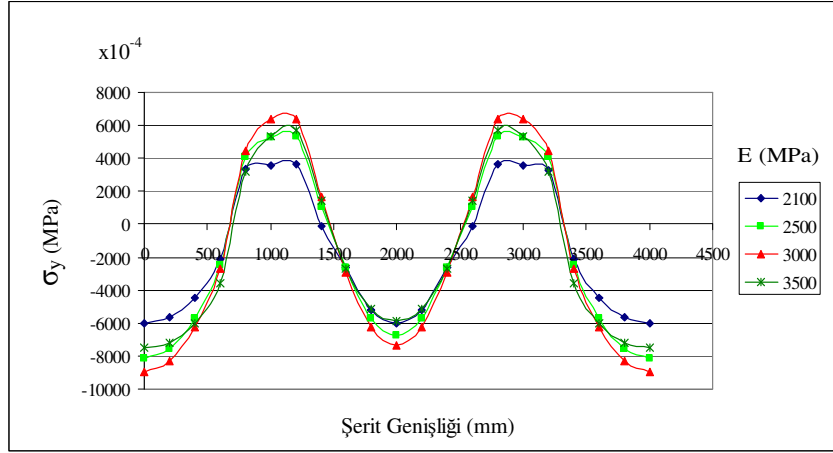
gerilme değerleri sonucunda asfalt kaplamada kırılmalar meydana gelebilir. Bu sebeple analizden elde edilen y yönlü gerilme değerleri bize kaplamanın esnekliği konusunda bilgi vermektedir. Şekil 4.4.'de ön tekerlerin geçişi esnasında meydana gelen gerilmeler verilmiştir. Ön tekerleklerin geçişi esnasında en yüksek basınç ve çekme gerilmesi x yönünde olduğu gibi, burada da 3500 MPa elastisite modülüne sahip kaplamada görölmüőtür. Hem x hem de y yönünde yüksek elastisite modülüne sahip kaplamalarda yüksek gerilme değerlerine ulaőtılmıştır. Buradan da elastisite modülü arttıkça yorulmaya karőtı dayanımın azaldığını ve yüksek gerilme değerlerinin meydana geldiğini görüyoruz. Ayrıca x yönündeki farklı elastisite modülüne sahip kaplamaların ilk yükleme anındaki gerilme değerleri birbirine oldukça yakın olmasına rağmen y yönünde bu değerler birbirinden farklıdır. Elastisite modülünün değişimi ile esnek yol üstyapısında meydana gelen y yönündeki gerilme değerlerinin birbirinden ne kadar farklı olduğunu daha net bir Şekilde görölmektedir. Buradan elastisite modülünün değişimi ile doğacak deformasyonların birbirinden daha farklı olacağı söylenebilir. Yani esnek yol üstyapısında meydana gelen kırılmaların daha Őiddetli olması beklenebilir.



Şekil 4.4 İlk Yükleme (Ön Tek Teker) Anındaki Y Yönlü Gerilme Grafiği.

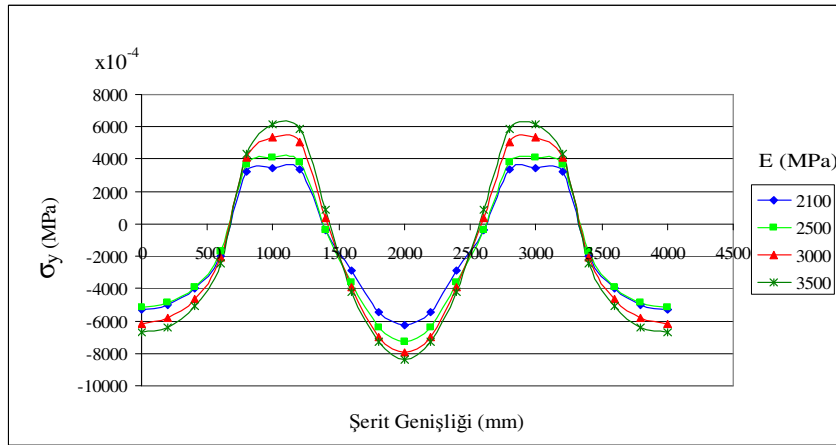
Şekil 4.5'te ikinci yükleme anındaki y yönlü gerilme grafiği verilmiştir. Bu yüklemede aracın orta çift tekerleri alanlara temas etmektedir. Burada da yine x yönünde olduğu gibi daha rijit olan 3500, 3000 ve 2500 MPa elastisite modülüne sahip kaplamalarda

daha yüksek gerilmeler görülmektedir. 2100 MPa elastisite modülüne sahip kaplamalar ise düşük gerilmelere maruz kalmıştır.



Şekil 4.5 İkinci Yükleme (Orta Çift tekerler) Anındaki Y Yönlü Gerilme Grafiği.

Şekil 4.6'daki grafikte son yükleme anında meydana gelen gerilme değerlerinde ise, yine 2100 MPa elastisite modülüne sahip kaplamanın daha az gerilmeye maruz kaldığı görülmektedir. Fakat 2500 MPa elastisite modülüne sahip kaplamanın da çok yüksek gerilme değerlerine ulaşmadığı görülmektedir. Fakat 3000 ve 3500 MPa elastisite modülüne sahip kaplamaların yine yüksek gerilme değerlerine ulaştığı söylenebilir.



Şekil 4.6 Son Yükleme (Arka Çift Tekerler) Anındaki Y Yönlü Gerilme Grafiği.

Y yönünde meydana gelen yüksek gerilmeler sonrasında asfalt kaplama tabakasında Resim 3.3'te görüldüğü gibi bir kırılma örneği yaşanabilir. Genel olarak x ve y yönlü grafiklerden elde edilen sonuçlara göre yüksek elastisite modülüne sahip kaplamaların, kaplamayı daha fazla deformasyona uğratacağını söyleyebiliriz.



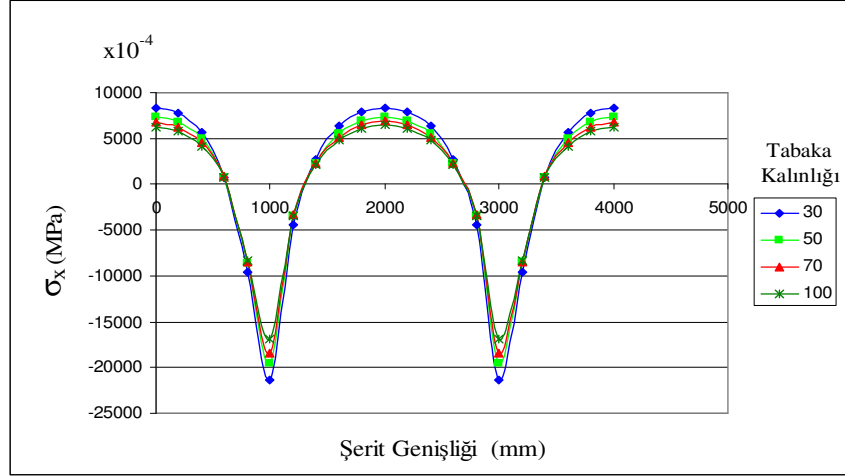
Resim 3.3 Bir kırılma örneği.

4.2 Asfalt Kaplamada Kaplama Kalınlığı Değişimine Göre Üstyapı Analizi

Esnek yol üstyapısının en üst tabakasını kaplama tabakası oluşturmaktadır. Dolayısıyla kaplamanın en üst kısmında yer almasından ötürü gerilmelere, deformasyonlara ve çevre etkilerine en fazla maruz kalan tabakadır. Bu sebeple bu tabakanın stabilitesi yol ömrü için önemlidir. Kaplama tabakası kalınlığı tespitinde yapılan yanlışlıklar tasarım hatalarıdır ve bu hatalar sonucunda bazı olumsuzluklar doğabilir. Örneğin kaplama kalınlığının az oluşu, aşırı fleksibilite (esneklik) azalması, tabakalar arasında aşırı kayma ve asfalt tabakalarının eylemsizlik direncinin (agregaların yer değiştirme direncinin) düşük olmasına sebebiyet vermektedir (Tunç 2004). Burada da Şekil 3.1'de üstyapıya ait aynı en kesit çizgisine, Şekil 3.2'de dingil planı verilen ağır taşıt etki ettirilerek o kısımlarda meydana gelen X yönündeki gerilme değişimleri gösterilmiştir. Analizde kaplama tabakası için 2100 MPa elastisite modülü değeri alınmıştır.

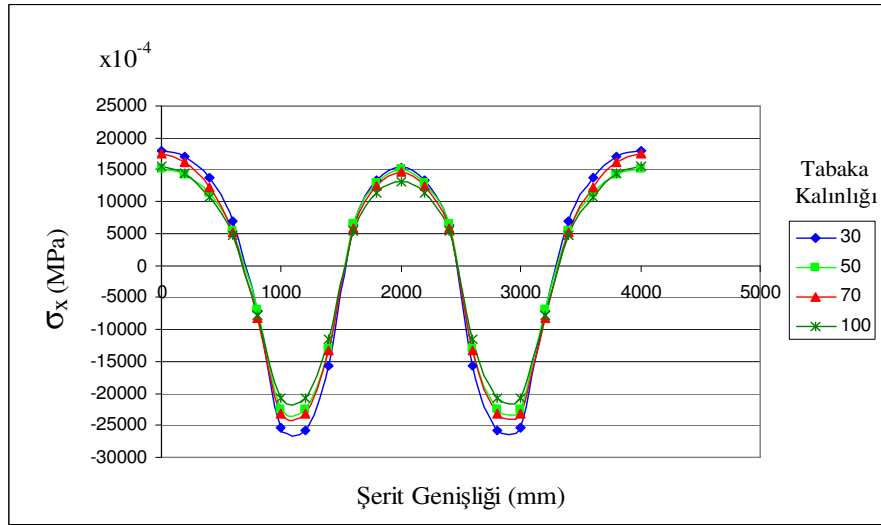
Şekil 4.7'de gösterilen grafikte 4 farklı kaplama tabakası kalınlığına sahip esnek üstyapının gerilme grafiği görülmektedir. Bu grafik ilk yükleme anındaki yani ön tekerlerin alanlara temas ettiği andaki gerilme değerleridir. Bu grafikte düşük kaplama

tabakası kalınlığına sahip yolun daha fazla basınç ve çekme gerilmelerine maruz kaldığı görülmektedir. Kaplama kalınlığı arttıkça gerilme değerlerinde azalma görülmektedir.



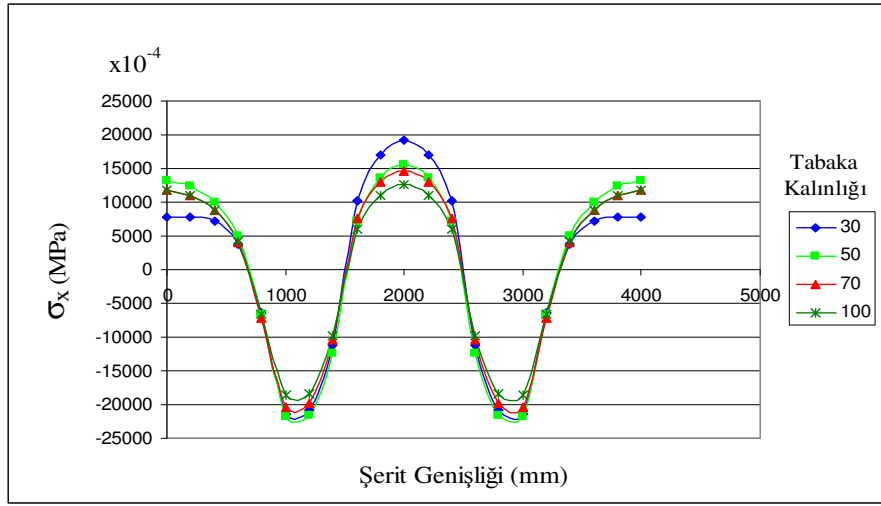
Şekil 4.7 İlk Yükleme (Ön Tek Teker) Anındaki X Yönlü Gerilme Grafiği.

Şekil 4.8’de aracın ikinci yükleme anı olan orta çift dingillerin geçtiği gerilme değerleridir. Bu grafikte değerler birbirine çok yakın olmakla beraber yine en düşük gerilme değeri 100 mm kalınlığa sahip kaplama tabakasında görülmüştür.



Şekil 4.8 İkinci Yükleme (Orta Çift tekerler) Anındaki X Yönlü Gerilme Grafiği

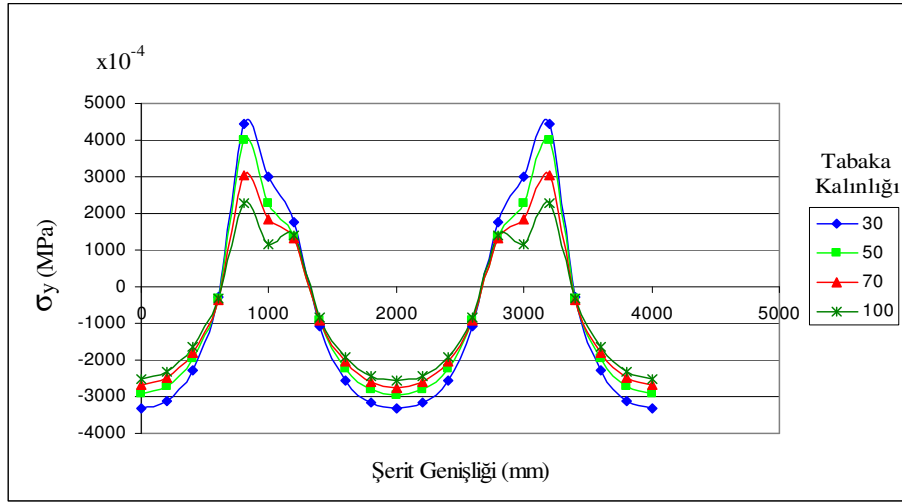
Son yükleme anında ise yani arka çift tekerlerin alanlara temas ettiği andaki gerilme grafiği Şekil 4.9'daki gibidir. Burada büyük bir farkla 30 mm kalınlığındaki kaplamada meydana gelen yüksek gerilme değeri göze çarpmaktadır. Yine diğer yüklemelerde olduğu gibi bu yüklemede de en düşük gerilme değeri 100 mm kaplama kalınlığına sahip yolda görülmüştür. Genel olarak 3 yüklemeye de göze çarpan yüksek kalınlığa sahip tabakada daha az gerilmenin meydana geldiğidir.



Şekil 4.9 Son Yükleme (Arka Çift Tekerler) Anındaki X Yönlü Gerilme Grafiği.

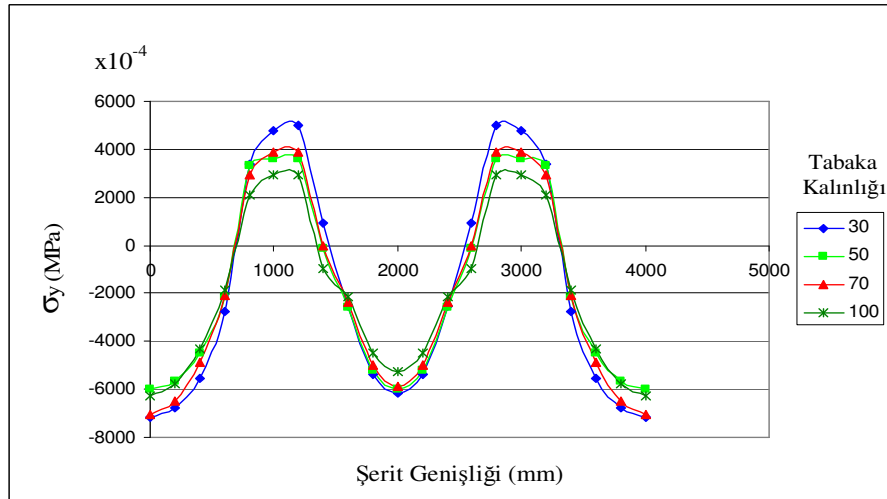
Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de yer alan grafiklerde, farklı kaplama kalınlığına sahip esnek yol üstyapısına uygulanan yük sonrasında, kaplamada meydana gelen y yönlü gerilme değerleri verilmiştir.

Şekil 4.10'da aracın ön tekerlerinin alanlara temas ettiği anda meydana gelen y yönündeki gerilme değerleri grafiği verilmiştir. Bu grafikte de x yönünden farklı olmayan düşük kaplama kalınlığına sahip esnek üstyapının yüksek basınç ve çekme gerilmesine ulaştığı görülmektedir.



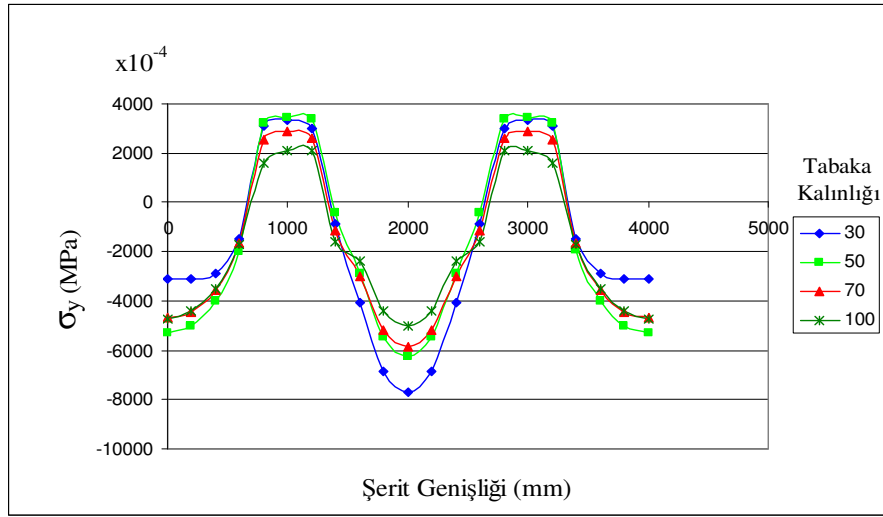
Şekil 4.10 İlk Yükleme (Ön Tek Teker) Anındaki Y Yönlü Gerilme Grafiği.

Ağır taşıtın orta çift tekerlekli dingilinin geçişi esnasında 30 mm kalınlığa sahip kaplama tabakalı yolda basınç ve çekme gerilmelerinde en yüksek değerlere ulaştığı Şekil 4.11'deki grafikte görülmektedir. 50 ve 70 mm kalınlığındaki kaplamalı yolların ise birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. En yüksek kaplama tabakalı yani 100 mm kalınlığa sahip esnek yol yapısında basınç gerilmesinin de çekme gerilmesinin de düşük değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.11 İkinci Yükleme (Orta Çift tekerler) Anındaki Y Yönlü Gerilme Grafiği.

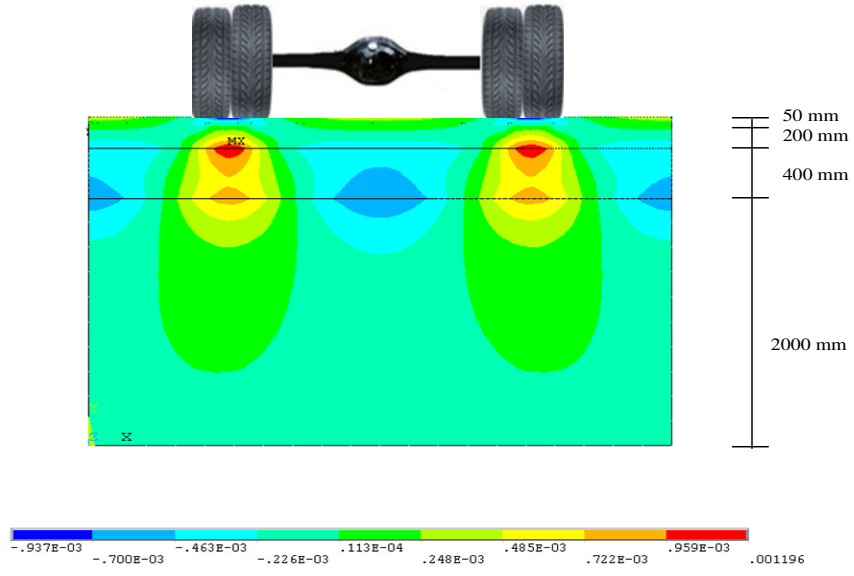
Şekil 4.12’de aracın son çift dingilinin geçişi sırasında meydana gelen gerilme grafiği verilmiştir. Bu grafikte en yüksek çekme gerilmesi değeri 30 mm kalınlığa sahip tabakada meydana gelmiştir. Fakat basınçta ise 30 ve 50 mm kalınlığındaki kaplamalarda gerilme değerleri birbirine oldukça yakındır ve diğerlerinden daha yüksektir. En düşük basınç ve çekme gerilmesine maruz kalan esnek yol üstyapısı ise 100 mm kalınlığa sahip olan kaplama tabakalı esnek yol üstyapısıdır.



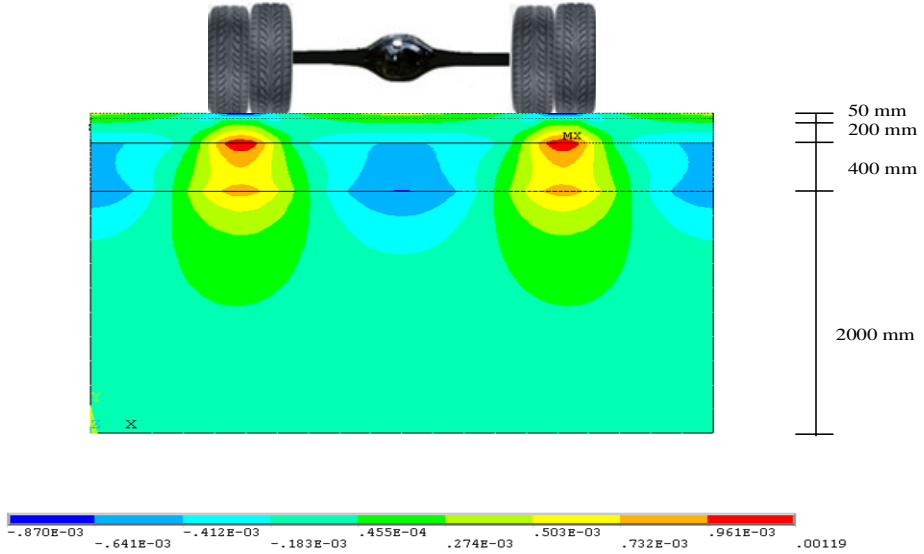
Şekil 4.12 Son Yükleme (Arka Çift Tekerler) Anındaki Y Yönlü Gerilme Grafiği.

4.3 Farklı Elastisite Modülüne Göre Şekil Değişiklikleri

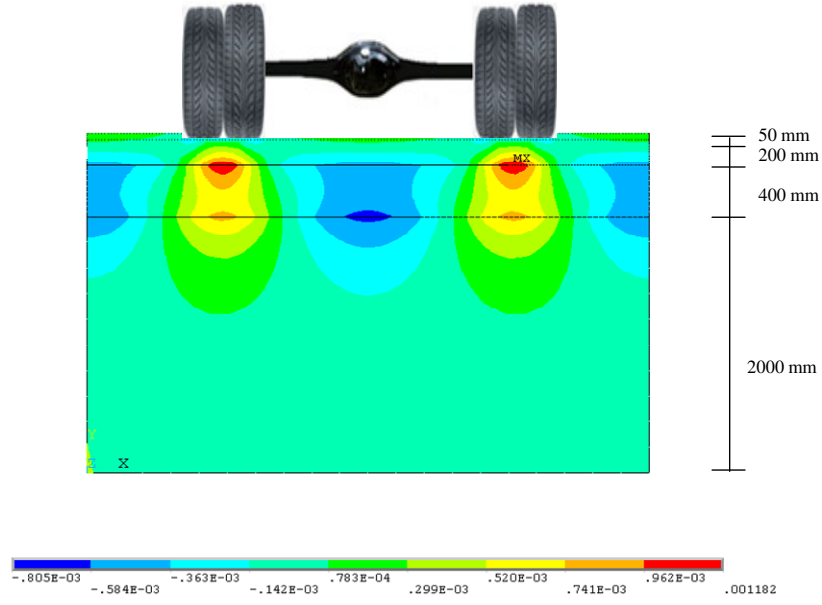
Elastisite modülü değişimine göre meydana gelen şekil değişiklikleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. Burada belirtilen şekillerdeki değerler yolun ilk durumu ile son durumu arasındaki şekil değiştirme oranını vermektedir. Farklı elastisite modülleri ile yapılan analizler sonucunda Şekil 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16’deki görülen şekil değişikliklerine göre; ağır taşıtın tekerlerinin altına gelen temel ile alttemel tabakası arasında kalan noktada meydana gelen maksimum şekil değiştirme, elastisite modülünün artmasıyla azalmıştır. Fakat iki teker arasında kalan ve alttemel ile taban zemini arasındaki noktada ise elastisite modülü arttıkça şekil değiştirme miktarı artmıştır. Buda muhtemelen üstyapının taban zemini ve alttemel arasındaki bağlantıların bozulmasına neden olacak ve bu noktadan kırılmanın görülmesi ihtimali artacaktır.



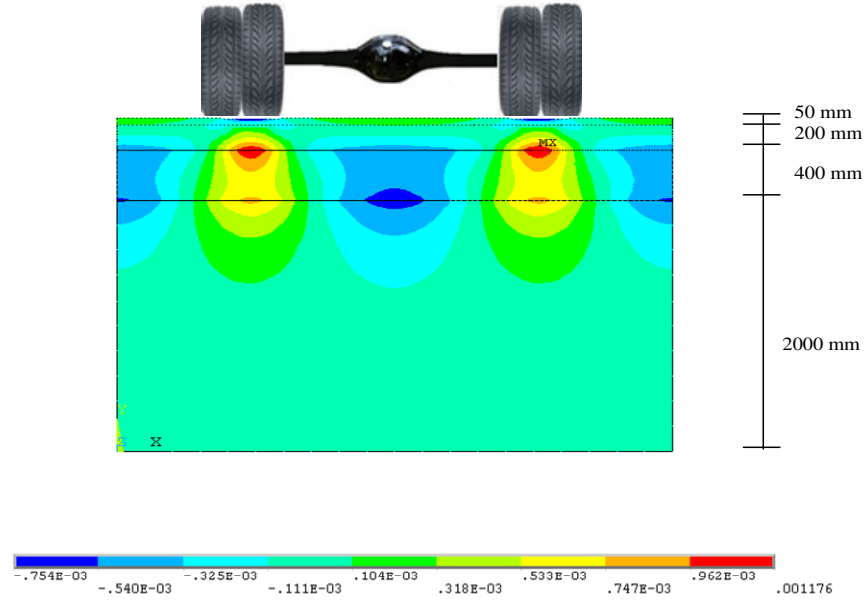
Şekil 4.13 2100MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değişimleri.



Şekil 4.14 2500MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değişimleri.

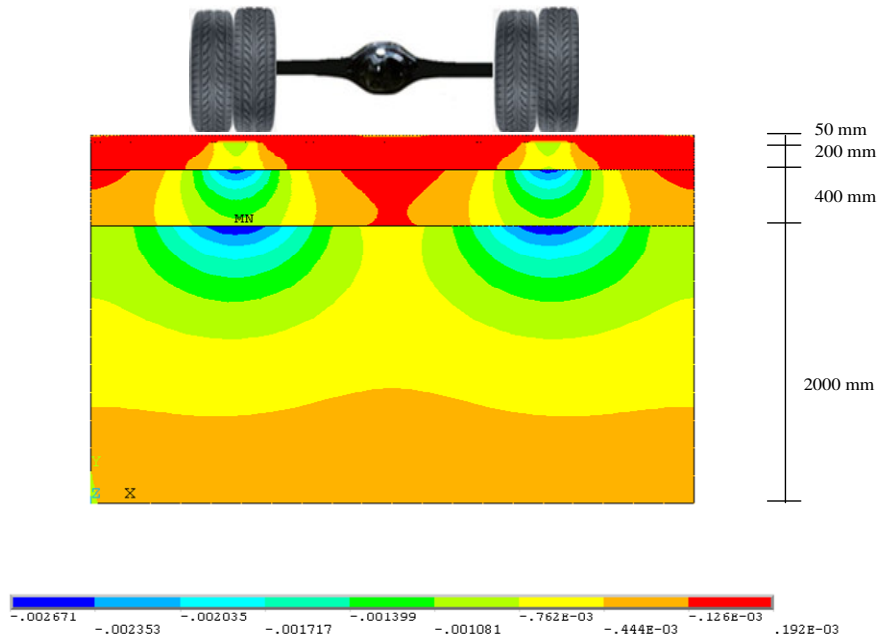


Şekil 4.15 3000MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değişimleri.

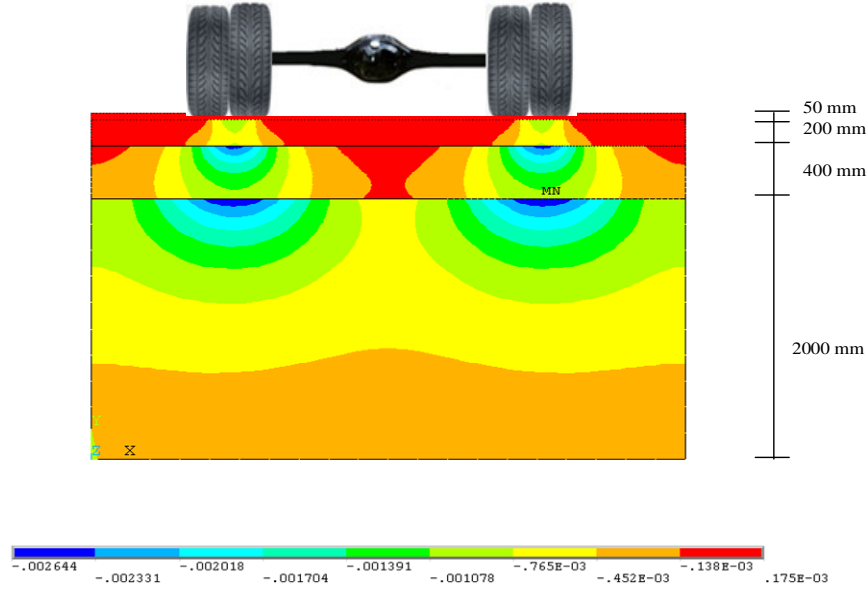


Şekil 4.16 3500MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değişimleri.

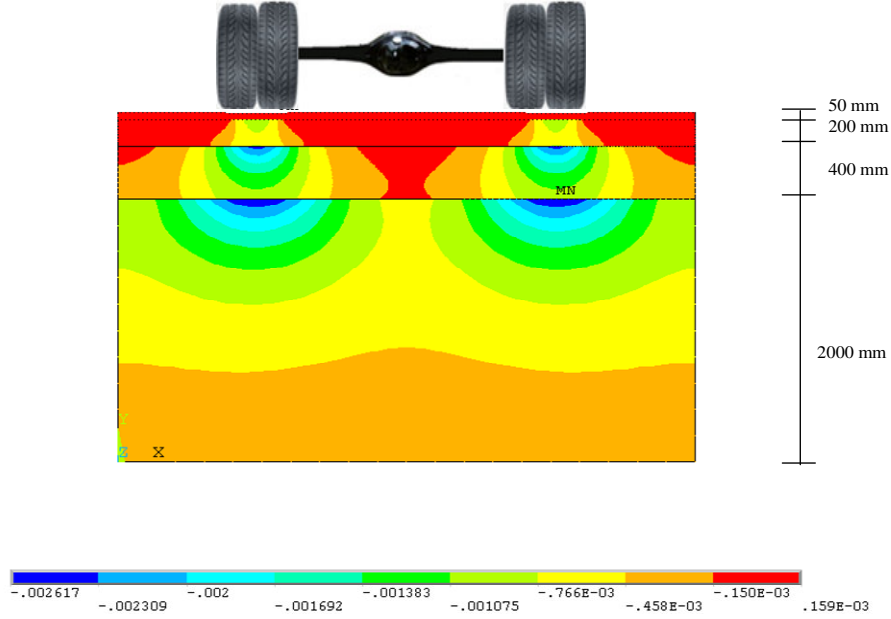
Şekil 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20’de farklı elastisite modüllerine göre esnek üstyapıda meydana gelen y yönlü şekil değiştirmeler verilmiştir. Bu grafikler göz önünde bulundurulduğunda y yönlü şekil değiştirmelerin 3500 MPa elastisite modülüne sahip kaplamada daha az şekil değiştirmeye uğradığı görülmüştür. Fakat y yönlü şekil değiştirmeler ile x yönlü şekil değiştirmeler karşılaştırıldığında; y yönlü şekil değiştirmelerin esnek üstyapıya etkisinin, x yönlü şekil değiştirmeler kadar birbirinden farklı olmadığı görülmüştür.



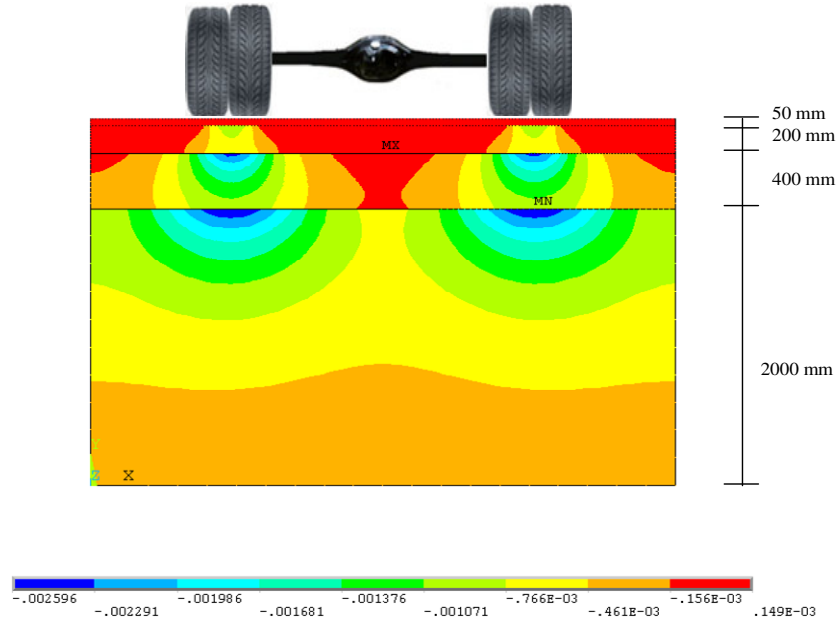
Şekil 4.17 2100MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değiş-tirmeler.



Şekil 4.18 2500MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değişirmeler.



Şekil 4.19 3000MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değişirmeler.

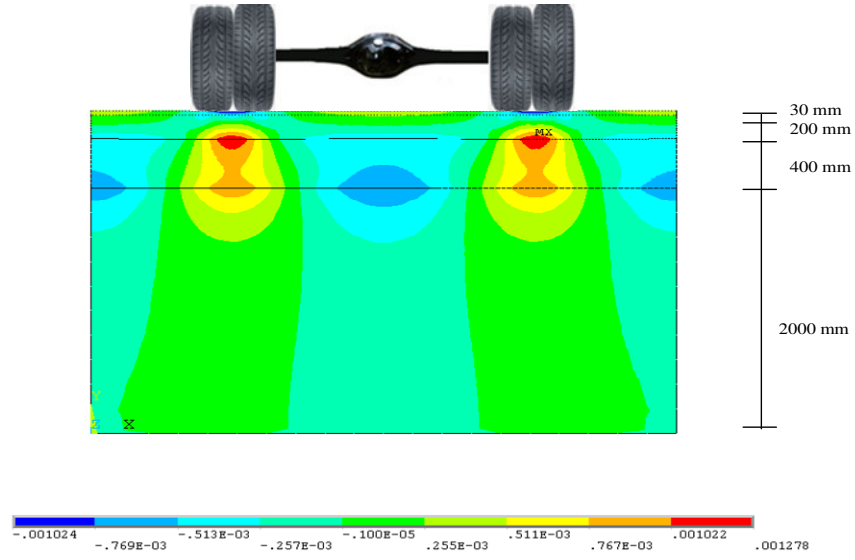


Şekil 4.20 3500MPa Elastisite Modülüne Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değişirmeler.

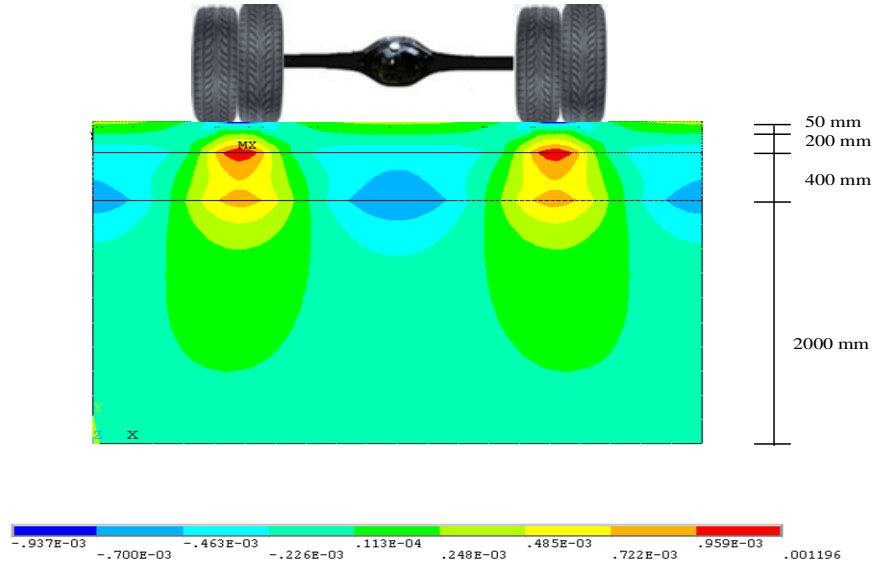
4.4 Farklı Kaplama Kalınlıklarına Göre Şekil Değişirmeler

Farklı kaplama kalınlıklarına göre yapılan analizler sonucunda çıkarılan Şekil 4.21,4.22,4.23 ve 4.24'te gösterilen şekil değiştirme grafiklerinde ise; kaplama kalınlığı arttıkça tekerlerin temas ettiği alanların altında bulunan max şekil değiştirmenin meydana geldiği temel ve alttemel arasındaki şekil değiştirme miktarı azalmaktadır.

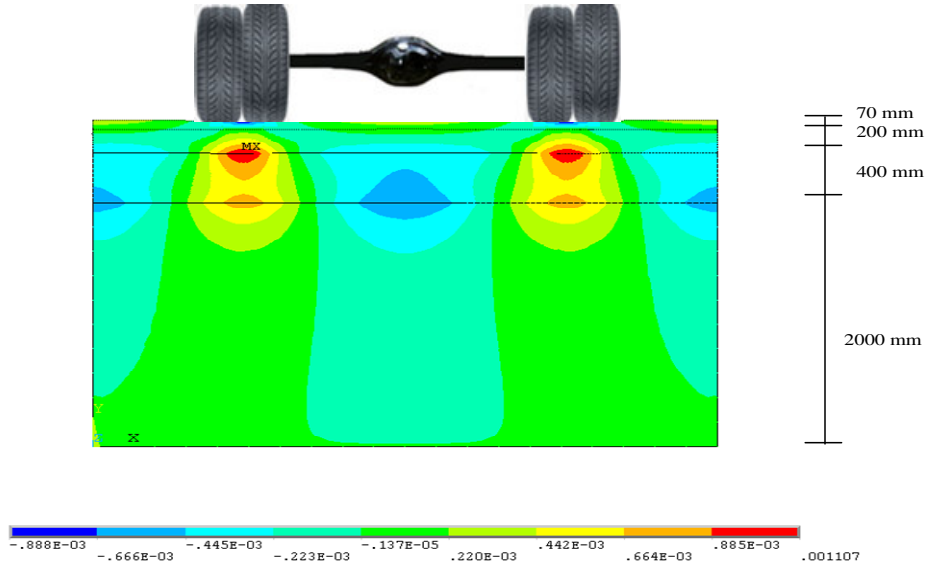
Şekil 4.25, 4.26, 4.27 ve 4.28'de ise farklı kaplama kalınlıklarına sahip esnek üstyapının y yönlü şekil değiştirmeleri verilmiştir. Bu grafikler göz önünde bulundurulduğunda y yönlü şekil değiştirmelerin 100mm kaplama tabakasına sahip esnek üstyapıda daha az şekil değiştirmeye uğradığı görülmüştür. Fakat y yönlü şekil değiştirmeler ile x yönlü şekil değiştirmeler karşılaştırıldığında; y yönlü şekil değiştirmelerin esnek üstyapıya etkisinin, x yönlü şekil değiştirmeler kadar birbirinden farklı olmadığı görülmüştür.



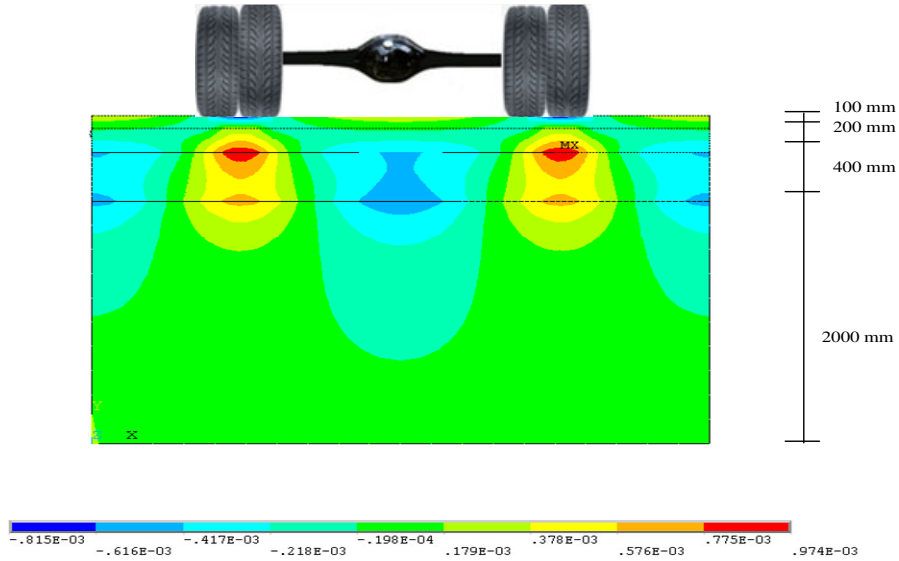
Şekil 4.21 30mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değişimleri.



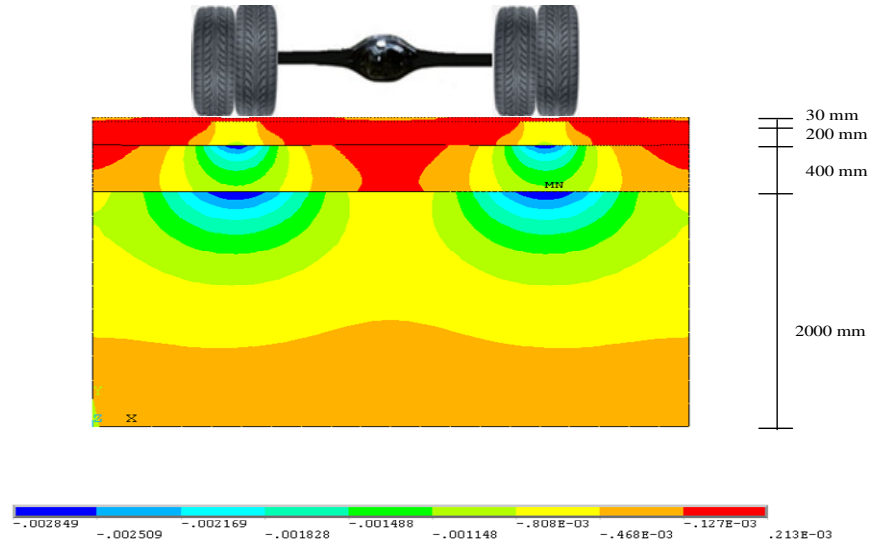
Şekil 4.22 50 mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değişimleri.



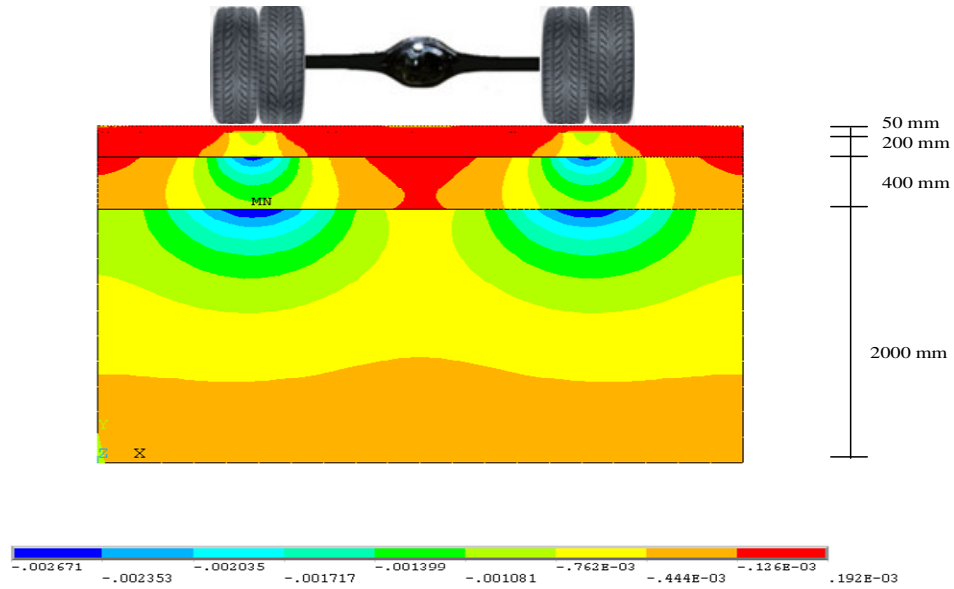
Şekil 4.23 70mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değişimleri.



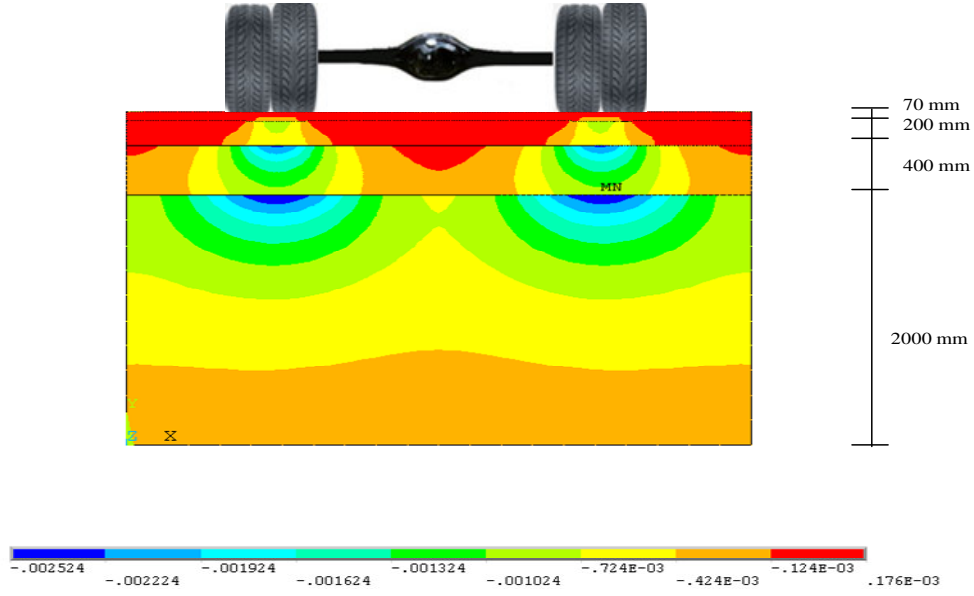
Şekil 4.24 100mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen X Yönlü Şekil Değişimleri.



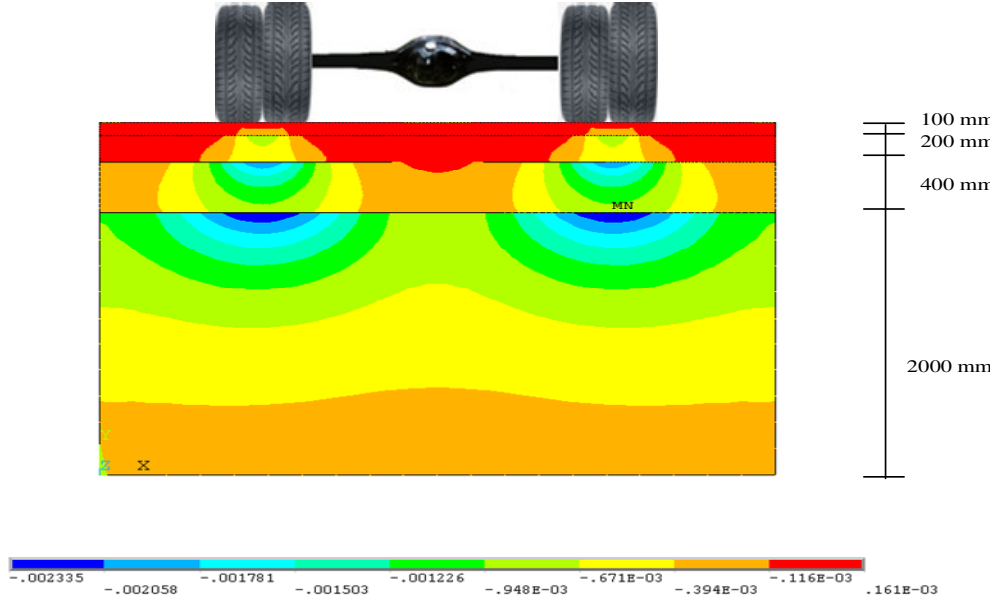
Şekil 4.25 30mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değişirmeler.



Şekil 4.26 50 mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değişirmeler.



Şekil 4.27 70mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değişiklikleri.



Şekil 4.28 100mm Kaplama Kalınlığına Sahip Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Y Yönlü Şekil Değişiklikleri.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, karayolu esnek üstyapısına dinamik bir yükleme uygulanmış olup, esnek üstyapısında hareketli yük sonucunda meydana gelen gerilmeler incelenmiş ve meydana gelen gerilmelerden çıkarılan grafikler değerlendirilmiştir. Esnek üstyapının durumunu en iyi şekilde belirlemek ayrıca gerekli olan malzeme özelliği ve araç yükünü en iyi şekilde yansıtabileceğimiz sonlu elemanlar metodunu kullanarak bir analiz yapılmıştır. Programda bitümlü tabaka için visko-elastik ve granüler malzemeler için elastik malzemeler tanımlanmıştır. İki farklı değişken ele alınarak esnek üstyapının durumu incelenmiştir. Birincisi elastisite modülü değişimine göre üstyapı gerilme analizi, ikincisi ise kaplama kalınlığı değişimine göre üstyapı gerilme analizi yapılmıştır ve yapılan analizler sonucunda çıkarılan grafikler yorumlanmıştır.

Dört farklı elastisite modülüne sahip kaplama ile yapılan analiz sonuçlarının grafiklerinde görüldüğü gibi, düşük elastisite modüllü kaplamaya sahip esnek üstyapının daha az gerilmeye maruz kaldığını söyleyebiliriz. Analizlerden çıkan grafiklerde genel olarak elastisite modülü arttıkça basınç ve çekme gerilmelerinde bir artış meydana gelmiştir. Asfaltın elastisite modülü arttıkça kırılma özelliğinin artması beklenir yani asfaltın yorulmaya karşı dayanıklılığı azalır ve bunun sonucunda esnek yol üstyapısında kırılmalar meydana gelebilir. Elastisite modülünün çok yüksek olması asfaltın çok iyi bir malzeme olduğunu göstermez. Çünkü elastisite modülü arttıkça malzeme kırılma olabilir ve gerilme değerleri artar ve bunun sonucunda da yolda meydana gelen deformasyon artabilir. Elastisite modülünün çok düşük olması da yine olumsuz sonuçlar doğurabilir. Elastisite modülünün çok düşük olması sonucunda plastik şekil değiştirme çok fazla olabilir. Bunun sonucunda da asfalt üzerinde oluklanmalar oluşabilir. Elastisite modülünün çok düşük olması da oluklanmaya karşı dayanımı düşürebilir. Kaplama tabakası için seçilecek olan elastisite modülü ne çok düşük ne de çok yüksek değerlere sahip olmalıdır. Elde edilen verilere dayanarak bir optimizasyona gitmek, muhtemel malzeme ömrünü tahmin etmek ve en uygun zaman aralığını tespit etmek mümkün olacaktır. Bunun içinde kaplama tabakası için seçilecek olan elastisite modülünün 2100 MPa ile 3000 MPa arasında olması esnek yol üstyapısının ömrünün uzun olmasını sağlayabilir.

Dört farklı kaplama kalınlığı ile yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan gerilme grafiklerinde görüldüğü gibi, kaplama kalınlığı arttıkça basınç ve çekme gerilmeleri değerlerinde bir azalma görülmektedir. Bunun sonucunda görülüyor ki düşük kalınlığa sahip kaplama tabakası kısa sürede deformasyona uğrayabilir. Tabi bu noktada ne kadar kalın yaparsak o kadar uzun ömürlü olacak fikri de çok uygun değildir. Bu noktada işin ekonomik boyutunu da düşünmek gerekir. Kapslama tabakasının kalınlığını çok fazla artırmak ta maliyet açısından bir külfet olabilir. Bunun için uygun olan optimum kalınlık ve maliyetle yapılacak kapslama tabakası tasarlamak gerekmektedir. Kapslama tabakası için de hem bozulma hem de maliyet açısından uygun olabilecek kalınlık 50mm ile 70 mm arasında olması esnek yol üstyapısı için uygun olabilir. Tabii ki bu değerler tamamen üstyapıya uygulanan dingil yükü ve bu yükün tekrar sayısı ile de ilgili olmakla birlikte genellemeye gitmek mümkündür.

Sonuçlar gösteriyor ki; sonlu elemanlar metodu ile çok kısa sürede ve laboratuvar çalışmasına gerek kalmadan üstyapı tasarımının yapılması ve en uygun zaman aralığı, malzeme özelliğinin tespiti mümkün olmaktadır.

6. KAYNAKLAR

AASHTO. 1994, "Standart Specifications for Transportatiom Materials and Methods of Sampling and Testing", Part I, Part II, Washinton, D.C.

Ağar, E. ve Karaşahin, M., 2004, "Sathi Kaplamalar Üzerine Bir Değerlendirme", 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, KGM Toplantı Salonu, s.131-140, Ankara.

Akbulut, H. ve Aslantaş, K., 2004, "Finite element analysis of stress distribution on bituminous pavement and failure mechanism", Materials and Design 26 (2005) 383-387.

Arık, A., 1998, "Balıkesir İli Çevresindeki Karayollarında Esnek Üstyapı Bozulmalarının Araştırılması Üzerine Bir Çalışma". Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Babkov, V. F., 1983, Highway Engineering. S-175. Newyork.

Bhattacharjee, S., Gould, J.S., Mallick, B.R., Hugo, F., 2004, "An Evaluation of Use of Accelerated Loading Equipment for Determination of Fatigue Performance of Asphalt Pavement in Laboratory", The International Journal of Pavement Engineering, Vol. 5 (2) June , pp. 61–79.

Croney, P. ve Croney, D., 1998, The Design and Performance of Road Pavements", New York, 508 s.

Çakıroğlu, M., 1996, "Yol Esnek Üstyapısında Oluşan Bozulmalar", 1. Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul.

Dallas, L.N., 1995, "Handbook For Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime", Texas, 219 s.

Dessouky, S., Masad, E., Bayomy, F., 2003, "Evaluation of Asphalt Mix Stability Using CoMPaction Properties and Aggregate Structure Analysis", The International Journal of Pavement Engineering, Vol. 4 (2) June 2003, pp. 87–103

Dolgun, A., 2003, "Karayolu Esnek Üstyapısında Meydana Gelen Bozulmalar, Nedenleri ve Onarılması", Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Edwards, Y., Taşdemir, Y., Isacsson, U., 2006, "Effects of commercial waxes on asphalt concrete mixtures performance at low and medium temperatures", Cold Regions Science and Technology, 45, 31–41.

Fwa, T.F., 2006, "The Handbook of Highway Engineering", National University of Singapore, Singapore.

Hatipoğlu, S., 1998, "Yasal Dingil Yükünün Yol Ömrüne Etkisi", İnşaat Mühendisleri Odası IV. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, Denizli.

İlcalı, M., 1988, "Karayolu Üstyapısında Erdemir Cürufunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

İlcalı, M., Tafur, S., Özen, H., Sönmez, İ. ve Eren, K., 2001, "Asfalt ve Uygulamaları" İsfalt, İstanbul.

İskender, E., 2004, "Asfalt Betonunda Kalıcı Deformasyon Probleminin Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Karaşahin, M., 1983, "Resilient Behaviour of Civil Engineering, University of Nottingham, England, 312 p.

Kaya, S., 2008, "Türkiye'de Ulaştırma Sektörünün Genel Görünümü ve Sorunları", İzmir Ticaret Odası, Ar&Ge Bülten, İzmir, Şubat, 33.

Keçeciler, A.F., Akkol, G., Gümrükçüoğlu, A., Gökçe, A.F., 1990, "Bitümlü Malzemeler Laboratuvar El Kitabı", Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara

Karayolları Genel Müdürlüğü, 2006, "Karayolları Teknik Şartnamesi", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Yayın No: 267, Ankara, 456-478, 531-536

Kutluhan, S. ve Ağar, E., 2004, "Bitümlü Sıcak Karışımlarda Tekerlek İzi Oluşumunun İncelenmesi", 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, KGM Toplantı Salonu, Ankara, 213-223s.

Lav, A.H. ve Lav, M.A., 2004, "Shell Bitüm El Kitabı", İsfalt, İstanbul.

Mulungye, R.M., Owende, P.M.O., Mellon, K., 2005. "Finite element modelling of flexible pavements on soft soil subgrades", School of informatics and Engineering, Institute of Technology Blanchardstown, Blanchardstown Road North, Dublin 15, Ireland.

O'Mahony, M.J., Ueberschaer, A., Owende, P.M.O., Ward, S.M. Bearing., 2000, "Capacity of forest access roads built on peat soils", J Terramech 37(3):127-38.

Onaran, K., 1999, "Malzeme Bilimi", Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.

Ong, C.L., Newcomb, D.E., Siddharthan, R., 1991, "CoMParison of dynamic and static backcalculation modulus for three layer pavements" Transportation Research Board 70th Annual Meeting, January 13-17 1991, Washington, D.C., Paper No 91, USA, 27p

Orhan, F., 2006, "Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları" T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, Ankara.

Owende, PMO., Hartman, AM., Ward, SM., Gilchrist, MD., O'Mahony, MJ., 2001, "Minimizing distress on flexible pavements using variable tyre pressure", J Transport Eng ASCE 127(3):254-62.

Sağlık, A., Güngör, G.A., 2006, "Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi", T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Daire Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü Yayını, Ankara.

Saltan, M., 1999, "Esnek Üstyapıların Analitik Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Saltan, M. ve Sezgin, H., 2004, "Karayolu Esnek Üstyapılarının Yapısal Durumunu Belirlemede Alttemel Tabakasının Yapay Sınır Ağları İle Modellenmesi", 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, KGM Toplantı Salonu, Ankara, 25-26 Kasım, 334-343

Salter, J.R., 1998, "Highway Design and Construction", London, 285 s.

Çetin, S., 2007, "Afyonkarahisar Bölgesi Volkanik Kayaçların Bitümlü sıcak karışım Kaplamalarında Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ayfon.

Şengül, C.E., 2006 "Asfalt kaplamalarda tekerlek izinde oturma ve su hasarı problemlerinin azaltılması için sönmüş kireç kullanımı." Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Siddharthan, R., Norris, G.m., Epps, J.A., 1991, "Use of FWD data for pavement material characterization and performance" Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol.117.No.6, USA, pp. 660-678.

Siddharthan, R., Norris, G., Zafir, Z., 1991, "Pavement material properties using nondestructive testing" Proceeding of the Third Internatiol Conference on Constitutive

Laws For Engineering Materials: Theory and Applications, Tuscon, Arizona, USA, pp.859-862.

Şiş, A., 2000, "Şartname Sınırlarındaki Agrega Granülometrisinin Asfalt Betonunun Fiziksel Özelliklerine ve Optimum Bitüm oranına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 35-55.

Tunç, A., 2001 "Yol Malzemeleri ve Uygulamaları", Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 840s.

Tunç A., 2004, "Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları", Asil Yayın Dağıtım, Ankara.

Tunç, A., 2004, "Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları", Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 22-23 s.

Tunç, A., 2004, "Esnek Kaplama Malzemeleri Elkitabı", Asil Yayın Dağıtım, Ankara.

Turan, H., 2002, "Denizli İli Kentiçi Yollarında Esnek Üstyapı Bozulmalarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Umar, F. ve Yayla, N., 1992, "Yol İnşaatı", T.C. İ.T.Ü. İnşaat Fakütesi Matbaası, İstanbul.

Umar, F. ve Açar, E., 1985, "Yol Üstyapısı", İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Wagberg, L.G., 1994, "Pavement Maintance Monitoring", Management and Techniques.

Yıldız, K., 2003, "Marshall Dizayn metodu İle Optimum Bitüm Muhtevasının Belirlenmesinde Deney Parametrelerinin Sonuca Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Lale GEVREK
Doğum Yeri : Salihli
Doğum Tarihi : 22.08.1981
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Salihli Anadolu Teknik, Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi, 1998
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, 2003
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008