

Esnek Kaldırımların Doğrusal Olmayan Analizi için Bir Plan Geliştirin

Seyed Alireza SADROLODABAE¹

Geliş / Received: 1/12/2021

Revize / Revised: 30/12/2021

Kabul / Accepted: 05/01/2022

ÖZET

Esnek doğrusal ve doğrusal olmayan kaldırımları analiz etmek için NonPAS adlı bir program geliştirilmiştir. Bu program analize ek olarak, beş model, K-ø, 1-37A ağırlıklar vb. Kullanılarak kaldırımdan doğrusal olmayanların analizine izin veren, uzatılmış, uzatılmış, doğrusaldır. Küresel aynı zamanda iki doğrusal model sağlar. Yukarıdaki modellerin kullanımı, ince taneli ve kaba taneli malzemelerin daha doğru davranışsal modellemesine izin verir. Program, altı dairesel yükleme seviyesinin etkisi altında 10 katmanlı geri tepme sistemini analiz edebilir. Ayrıca 300 farklı kaldırım noktasındaki reaksiyonların hesaplanmasına izin verir. Doğrusal olmayan ve doğrusal program doğrusal olmayan program analizi sonuçlarını doğrulamak için bu programın sonuçları KENLAYER programı ile karşılaştırılmıştır. Doğrusal ve doğrusal olmayan iki analiz modunda adaptasyon yanıtının çok iyi olduğunu gösteren analiz sonuçlarını karşılaştırın ve bu programın kullanılan kaldırımın analizi ve tasarımı amacıyla yüksek güvenilirliğe sahip olabileceğini gösterin. Bu uygulamanın diğer uygulamalarla karşılaştırıldığında en büyük avantajı, esnek, çok katmanlı, davranışsal modeli dikkate alarak daha çeşitli modelleme olasılığı daha doğru, yapı malzemeleri, tahıl, temel dahil, toprak ve çöp temeli altında sağlar. Ayrıca, yakın tarihli bir çalışma, programın kaldırım seviyesine conlair programının hesaplanmasından daha doğru bir şekilde daha doğru yanıtlar gösterdiğini göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELEER: - Doğrusal olmayan kaldırım modellemesi, Çok katmanlı teori, NonPAS Uygulama, yüzey tepkileri

¹ Seyed Alireza SADROLODABAE, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Aydın Üniversitesi, İSTANBUL

*Corresponding author: alireza_sadr19@yahoo.com

Develop a Plan for Non-Linear Analysis of Flexible Pavements

ABSTRACT

In order to analyze linear and nonlinear flexible pavements, a program called NonPAS has been developed. The app has been developed in addition to analysis of elasticity, linear, possibility of non-linear analysis of pavements with the use of five models ,k- ϵ ,1-37A,Uzan, etc. Universal., the NCHRP and also Model two linear provides. The use of the above models allows for more accurate behavioral modeling of fine-grained and coarse-grained aggregate materials. The program can analyze the reactionary system 10 layers under the effect of six circular loading levels. It also allows calculating reactions at 300 different points of pavement. In order to validate the feasibility of the results obtained from the analysis of the linear and nonlinear program NonPAS responses obtained from this app with the responses obtained from the program KENLAYER comparison have been. Compare the results of the analysis represents the conformity of very good answers in the two modes of analysis, linear and non-linear, and show that this program can be used with high reliability for the purposes of analysis and design of pavement used. The main advantage of this app compared to other apps, resilient, multi-layered, in consideration of the behavioral models more diverse is the possibility of modeling more precise, building materials, grain, including the basis, under the basis of soil and litter provides. Also, a recent study shows that the program presented closer responses to the pavement level more accurately than the kenlayer program calculates.

KEYWORDS: - *Nonlinear pavement modeling, Multilayer theory, Nonpas Application, Surface responses*

1. GİRİŞ

Toplumsal Şimdiye kadar, esnek kaldırımları analiz etmek ve tasarlamak için birçok bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu programların her biri, içerik oluşturucularının ihtiyaçlarına göre geliştirilir ve bu nedenle diğer kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayamayabilir. Kaldırım tasarımının yönünü Mekanistik-deneysel yöntemi kullanan ülke ve kuruluşların her biri onları kullandı. yazılım tabanlı bir yöntem geliştirmeye çalıştı Mekanistik-deneysel özel olması. Bir inşaat yöntemi tasarlamamanın ilk adımı Mekanistik-deneysel, serme analizi ve farklı yükler altında sermenin kritik Lehigh reaksiyonunun hesaplanması. Diğer ülkelerde kaldırım tasarım ve analiz yazılımı geliştirilmesine rağmen, aşağıdakiler göz önünde bulundurularak, ülke içinde bir kaldırım tasarım ve analiz yazılımı geliştirilmesi gerekmektedir [Iranian Transportation Research Center, 2008].

1-Mevcut bazı yazılımların yükleme durumu, kullanılan malzemeler ve ülkenin atmosferik durumu ile uyumsuzluğu.

2-Yazılım geliştiricisi adına yetersiz destek.

3-Bazı yazılımlarda ayrıntılı analiz ve tasarım süreci hakkında yetersiz bilgi.

4-Mevcut uygulamalarda bazı kısıtlamalar var.

5-Gelecekteki yazılım geliştirmenin imkansızlığı ve tasarım ihtiyaçlarına uygunluğu.

Yukarıdaki nedenlerden dolayı, ülke içinde bir yazılım analizi ve kaldırım tasarımının geliştirilmesinde ilk adımı atmak amacıyla NonPAS geliştirme programı, bu uygulamada erişilebilen referans kodundan dolayı olmuştur, gelecekte gelişme olasılığı sağlanmıştır.

En basit yöntem zaman etkisi altında esnek kaldırım davranışını kontrol olduğunu, yarım boşluk homojen kaldırım dikkate alınarak, ve sonra Bosinesk kullanımı ile kaldırım analiz olduğunu. Bermister ilk kez Dairesel yükleme altında iki katmanlı ve üç katmanlı Elast sistemlerinin analitik bir çözümünü sundu. [Burmister, 1943,1945]. Esnek döşemeleri analiz etmek için çok katmanlı elastisite teorisi ve sonlu elemanlar yöntemi olan iki yaygın yöntem vardır.

Şu anda, çoğu esnek kaldırım analiz programı kaldırım analizi için çok katmanlı elastisite teorisini kullanmaktadır. Örneğin, BISAR [De Jong and Peutz, 1979] ,JULEA [Uzan, 1994] LEAF[Hayhoe, 2002] ,KENLAYER [Huang], Mnlayer [Khazanovich and Wang,2004-2007] programları not edilebilir. Serme modellemesi çok katmanlı teori ile daha basittir ve sistemi bilgisayarla çözmek sonlu elemanlar yöntemine kıyasla daha az zaman gerektirir. Ayrıca, çok katmanlı gerici teori tabanlı programlarla çalışan profesyonel olmayan kullanıcılar için sınırlı eleman programlarından daha basittir[Huang, 2004].

Duncan ve arkadaşları, esnek kaldırımları ilk kez analiz etmek için sonlu elemanlar yöntemini kullandılar[Duncan, 1968].

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çok katmanlı sistemlerin genel analiz yöntemi Wilson ve Barksdale tarafından sunulmuştur[Yang, 1972]. Esnek kaldırım analizi için en genel uygulamalar sonlu elemanlar yöntemi ILLIPAV ve MICHPAV 'dir[Harichandran, Yeh and Baladi, 1990; Raad and Figueroa, 1980].

ANSYS ve ABAQUS gibi genel sonlu elemanlar analiz programları da başarıyla kullanılmıştır[Marina et.al., 2005 ;Ying et.al.,2004; Kuo and Huang,2006; Thenoux and Rodriguez-ro, 2008; Kim,Tutumluer and Kwon, 2008,2009); Sadrnejad et..al., 2011].

Dr. bakargiri Roshe ajzai Sınırlı seçim doğru formu Belediye Başkanının etkisi, yani doğru kaynak görünümü Dard. Roush limited parts Dr. dalsazi systemhaye ke Darai spesifik boyutlar ve tanı hstnd tuanaye Peachtree Dard, Zira Roush Lai BA, radyal yönün sonuna kadar empoze eder, bkz. yoğunluk est. Rosasi doğrusal olmayan analiz, prrm avzarhai sistemi IEEE Olasılık verileri[Huang,2004]. Bununla birlikte, pratik uygulamalarda, artan zaman analizi nedeniyle, sonlu elemanlar yönteminin olası kullanımı olmayabilir ve bunun nedeni, elastisite teorisi yöntemi ile yapılan analiz olabilir, sınırlı tercih edilen bileşenlerin çok katmanlı analizi verilmelidir.

2. AGREGA MALZEMELERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLERİ

Trafiğin neden olduğu tekrarlanan yük altında, kaldırım deformasyonlarının çoğu geri dönüşümlüdür ve bu deformasyonlar esneklik olarak kabul edilebilir. Bu sorunun nedeni, inşaat aşamasında merdane Reni kaldırımından ağır yükün uygulanması, kalıcılığın deformasyonunu gelecekte minimum değere düşüren, kaldırımın analizinde, genellikle M_R 'in elastisite modülünün sertlik ifadesi için, malzemelerin elastikiyeti kullanılır. M_R aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r}$$

1

Bu bağlamda, σ_d , yükleme ve ϵ_r gerinim nedeniyle tersinir streştir. Temel, alt yapı ve taban toprağı agregalarının elastik modülünü belirlemek için genellikle tekrarlanan üç eksenli yükleme testi kullanılır. Geçmiş laboratuvar çalışmaları, iri taneli ve ince taneli agregaların elastik modülünün stres durumuna bağlı olduğunu göstermektedir. [Uzan, 1985; Thompson and Elliott, 1985; tumluer, 1995; Taylor and Timm, 2009; Siripun et. al, 2011]. tümliür, 1995; Taylor ve Timm, 2009; Siripun 2011, et. al]. Düşük çimento ile stabilize edilmiş malzemelerin gerilme-şekil değiştirme davranışı üzerine yapılan son araştırmalar, bu malzemelerin elastik modülünün de gerilme durumunun bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir [Jitsang 2011, .am ve Nikraz, 2009; Puppala et. al]. Bu nedenle, kaplama tepkilerini ve bunun kesin mekanik analizini doğru bir şekilde belirlemek için, gerilme durumunun bir fonksiyonu olarak agrega malzemelerinin elastik modülünü hesaplamak gereklidir.

Gerilme durumundan dolayı agregaların elastik modülünü belirlemek için birçok girişimde bulunulmuştur. Gerilme durumunun bir fonksiyonu olarak elastik modülü belirlemeye yönelik en eski modellerden biri, aşağıdaki gibi olan k- θ modelidir:

$$M_R = K_1 \theta^{K_2}$$

2

Bu ilişkide $\theta = \sigma_3 + \sigma_2 + \sigma_1 = \sigma$ ve $K_1, K_2 =$ malzemelerin sabitleridir. Azan, K- θ modelinin, kesme gerilmelerinin miktarının önemli olduğu durumlarda malzemelerin elastik modülünü iyi tahmin

edemediğini gözlemledi ve elastik modülü doğru bir şekilde tahmin etmek için aşağıdaki üç parametrelili model önerildi [Uzan,1985]:

$$M_R = K_1 \left(\frac{\theta}{P_0} \right)^{K_2} \left(\frac{\sigma_d}{P_0} \right)^{K_3} \quad 3$$

Bu bağlamda θ_d = eğilme gerilimi ($\theta_d = \theta_1 - \theta_3$), p_0 = birim basınç (1 KPa) ve K_1, K_2, K_3 = malzeme sabitleri Uzan modelinin sınırlamalarıdır. Eksenel sıkıştırmayı sınırlar: Witzak ve Uzan kullanımını önerdi Uzan tarafından geliştirilen genel bir modelin, kendi modellerinde sapma geriliminin bir oktahedral stres ile değiştirilmesi dışında [Witzak ve Uzan 1988] Universal ünlüdür ve şöyle yazılmıştır:

$$M_R = K_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{K_2} \left(\frac{\tau_{oct}}{P_a} \right)^{K_3} \quad 4$$

τ_{oct} = bu ilişkide sekizli kesme gerilimi

$$\left(\tau_{oct} = \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2} \right)$$

P_a = atmosferik basınç (100Kpa) ve K_1, K_2, K_3 = malzeme kararlılığı

NCHRP tarafından sunulan yeni mekanik-deneyssel üstyapı tasarım kılavuzunda, ince taneli ve kaba taneli malzemelerin doğrusal olmayan elastik davranışını ifade etmek için Uzan-Witzak modeline benzer bir model önerilmiştir, bu aşağıdaki gibidir:

$$M_R = K_1 \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{K_2} \left(\frac{\tau_{oct}}{P_a} + 1 \right)^{K_3} \quad 5$$

İnce taneli malzemelerin elastik modülü, bu tür malzemelerin yumuşama davranışından dolayı artan stres seviyesi ile azalır. Bu malzemeler için davranışsal model, sapma geriliminin bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Thomson ve Robent tarafından sunulan iki hatlı model en çok bu alanda kullanılmaktadır. Bu model şu şekilde yazılmıştır[Thompson and Robnett, 1979].

$$\begin{cases} M_R = K_1 + K_3(K_2 - \sigma_d) & \sigma_d \leq K_2 \\ M_R = K_1 + K_4(\sigma_d - K_2) & \sigma_d \geq K_2 \end{cases}$$

Bu konuda K_1, K_2, K_3, K_4 = malzemelerin sabitleri. Yukarıdaki modeller arasında, iri taneli malzemeler için k-0 modeli ve kaplamanın doğrusal olmayan elastik analizi için ince taneli malzemeler için Tamon ve Robert tarafından sunulan model bazı programlarda uygulanmıştır. Şimdiye kadar doğrusal olmayan üstyapı analizi için geliştirilmiş çok katmanlı elastik teorisine dayalı tüm programlar, yalnızca KENLAYER veya EVERSTRESS gibi sonlu doğrusal olmayan modelleri dikkate alabilir. NonPAS programı, sunulan 5 modelden herhangi birini kullanarak doğrusal olmayan üstyapı analizine izin verir.

3. NONPAS

App NonPAS üst birkaç seviyeleri altında elastik doğrusal ve doğrusal olmayan kaldırım esnek analiz etmek için dairesel şekil yüklü Visual Basic. Net ortamında geliştirilmiştir, kaldırım analiz etmek için katmanlı ve dairesel kullanır yükleme etkisi altında kaldırım cevabı hesaplamak elastik çok Teori Uygulama. Seviyelerin her birinin etkisi altındaki reaksiyonun hesaplanmasından sonra, yükleme seviyelerinin özelliklerine göre nihai reaksiyonun yükleme miktarları ve ayrıca sistemde istenen noktanın koordinatları, yük altındaki kaldırım katı olarak hesaplanır[Huang, 2004].

Nonpas programının tasarımında asfaltlama analizi için mümkün olduğunca kullanıcı dostu bir ortam sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca, programın daha da geliştirilmesini sağlamak ve Len'i mekanik-deneysel bir kaldırım tasarım yazılımına dönüştürmek için yazılım tasarımında modüler bir süreç kullanılmaya çalışılmıştır.

Program girişleri aşağıdakileri içerir:

1-proje özellikleri. Proje özellikleri arasında proje başlığı, birleşik sistem seçimi, doğrusal olmayan analiz için maksimum tekrar sayısı, doğrusal olmayan analizde yakınsama için kabul edilebilir maksimum hata sayılabilir.

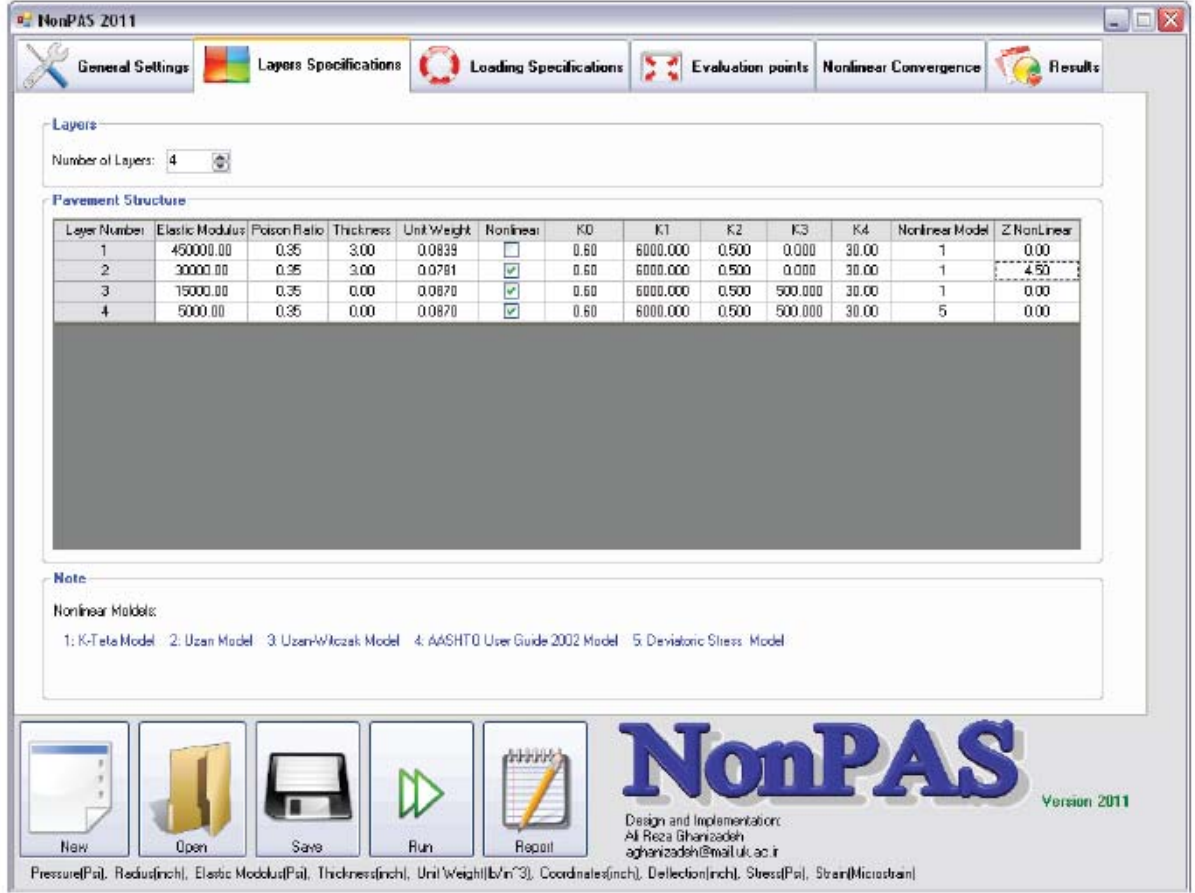
2-yapısal özellikler. Yapısal özellikler, katman sayısını vb. İçerir. elastik modülü, naylon tabakalar için mükemmel, Poisson tabakalarının katsayısı, tabakaların kalınlığı; tabakaların özgül ağırlığı, tabaka tipi(doğrusal veya doğrusal olmayan), doğrusal olmayan tabaka için tabaka sabitlerinin doğrusal olmayan davranış tipi, elastisite modülünü hesaplamak için bir gerilim noktası olarak istenen derinlik.

3-Yükleme özellikleri. Yükleme özellikleri arasında aks tipi (basit, çift, üçlü ve isteğe bağlı), tekerlek tipi (tek veya eşleştirilmiş), aks mesafesi, tekerlek mesafesi, tekerlek basıncı ve tekerlek yarıçapı bulunur.

Ek olarak, doğrusal olmayan analiz durumunda, gerilim noktasının koordinatları ve gerilim dağılımının eğimi de dahil olmak üzere yükleme bilgileri tanımlanmalıdır.

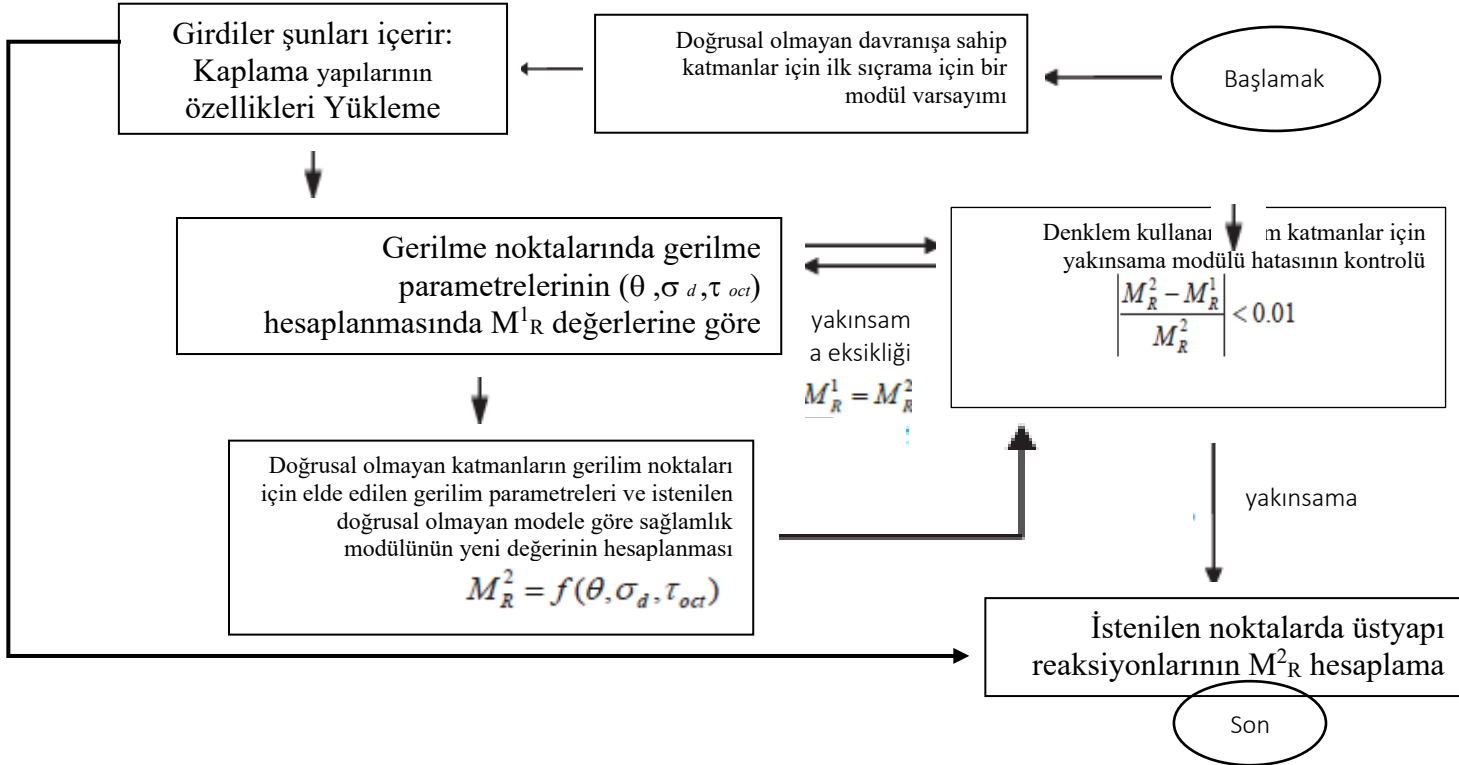
4-tahmini reaksiyon noktalarının belirtilmesi. Reaksiyon tahmin noktalarının spesifikasyonu, reaksiyonları tahmin edecek noktaların sayısını, reaksiyon tahmin derinliklerinin sayısını, koordinatları ve tepki noktalarının derinliğini içerir. Reaksiyonlar her noktada ve tüm derinliklerde hesaplanır.

Kapsamlı bir Rus analizinin sonuçları tenchha, crunchha, IFT ve khizha Dor yüz orijinali, tenchhai bershi, tenchha ve crunchha orijinali, daha fazla Tench bershi, Tench bershi ve crunchha bershi hasht yüzü ve daha yatay Tench hstend'dir. Ra Mi Tuan Dr Yik dosyasının sonuçları yanıt olarak cephanesiyle nerede bulundu.



Şekil 1. Nonpas uygulama kullanıcısı

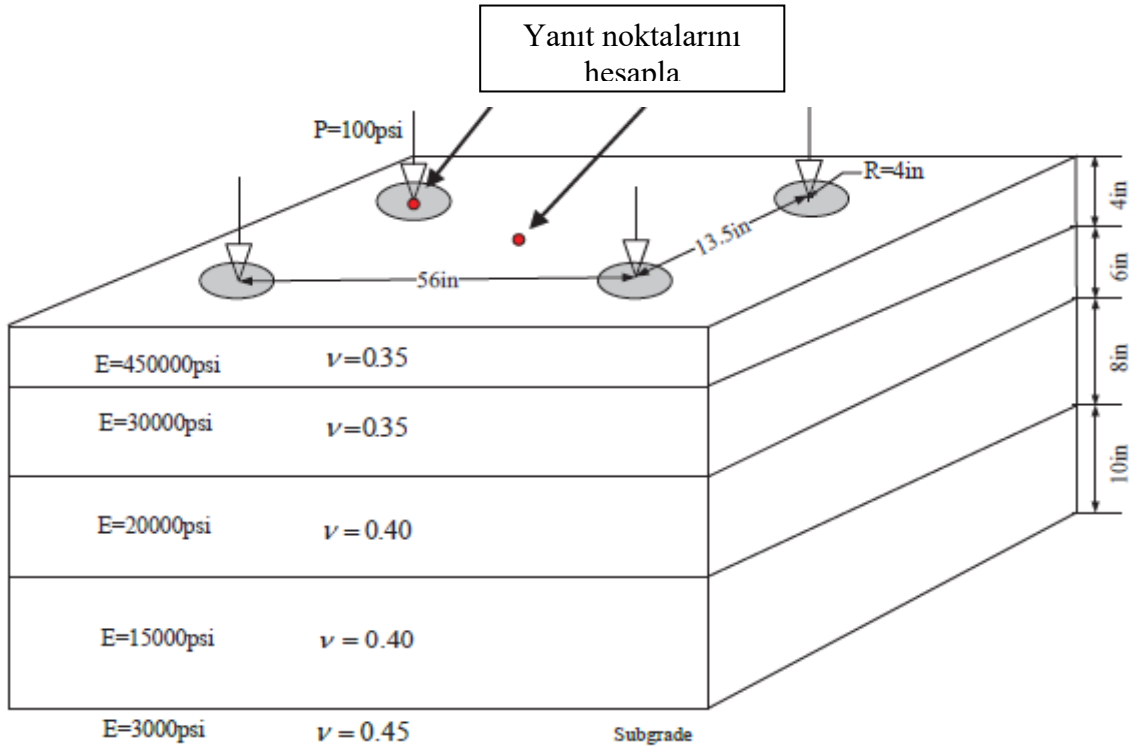
Doğrusal olmayan kaldırım analizi, Şekil 2'de gösterilen algoritma kullanılarak nonpas programında gerçekleştirilir.



Aşağıda NonPAS programından elde edilen reaksiyonları KENLAYER programından elde edilen reaksiyonlarla karşılaştıracamız.

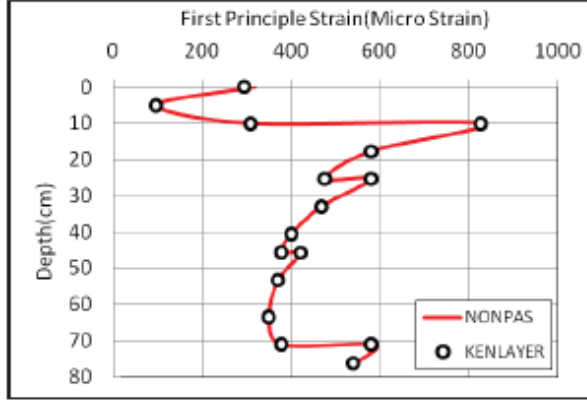
4. KENLAYER PROGRAM KULLANILARAK LİNEER ANALİZ SONUÇLARININ DOĞRULANMASI

İş NonPAS programının lineer analizinden elde edilen reaksiyonu doğrulamak için Şekil (3)'te gösterildiği gibi beş katmanlı bir üst yapı sistemi düşünülmüştür. Yükleme, eşleştirilmiş tekerleklerle çift eksen olarak yapılır. İki dingil arasındaki mesafe Şekle göre 142.25 cm'ye (56 inç) eşittir ve her bir eksendeki iki tekerlek çifti arasındaki mesafe 34.29 cm'ye (13.5 inç) eşittir. Her bir tekerleğin yükü, 10.16 cm (4 inç) yarıçaplı dairesel bir yüzey üzerinde 100 pound/inç kare (6.9 kg/cm²) üniform bir basınçla kaldırım yüzeyine uygulanır. Yukarıdaki sistem bir kez NonPAS programı ve tekrar KENLAYER programı kullanılarak analiz edilmiş ve tepkiler tekerleğin merkezinde ve yükün simetri merkezinde (dört tekerlek arayüzü) ve çeşitli işlemlerde hesaplanmıştır. Bu analizin sonuçları Şekil (4) ila (1)'de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi NonPAS, KENLAYER programından elde edilen reaksiyonlar birbiriyle çok iyi uyum göstermektedir. Üst yapı seviyesinde (sıfıra eşit derinlik) elde edilen tepkilerin yanı sıra dikey dalgalanmalarla ilgili olarak, bu iki programın sonuçları arasında pek bir uyum yoktur. KENLAYER programı, tekerleğin merkezinin altındaki dikey gerilimi 5.51 kg / cm² (79,90 lb-ft) olarak ve NonPAS programı 6.90 kg / cm² (100.07) olarak ölçer. İnç kare verir). Bu stresin gerçek değeri, santimetre kare başına 6.9 kg'dır (inç kare başına 100 pound). Böylece, KENLAYER programı gerçek değerden yaklaşık %20 daha az dikey gerilim miktarını tahmin ederken, NonPAS programı bu tepkinin miktarını neredeyse hatasız olarak tahmin eder. Ayrıca, KENLAYER programı iki tekerlek arasındaki dikey gerilimi 0.3284 kg/cm²(4.795lb/inç²)'ye, NonPAS programı ise 0.0107 kg/cm²(0.157lb/inç²)'ye eşittir. Gerçek değer ise sıfırdır. Görülebileceği gibi, NonPAS, kaplama seviyesindeki tepkileri tahmin etmede KENLAYER'den daha doğrudur.

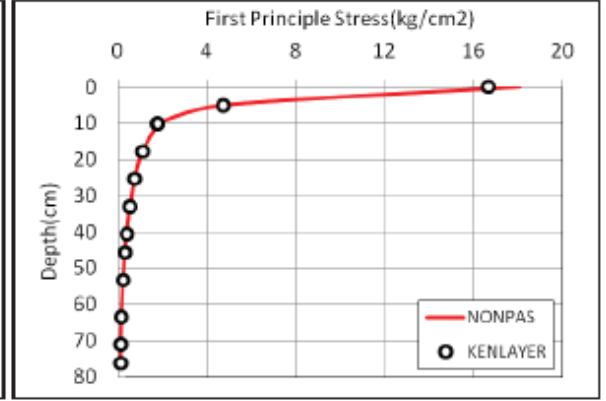


Şekil 3. Kaldırım doğrusal analizinde Les'in tepkisini doğrulamak için çapraz kaldırım

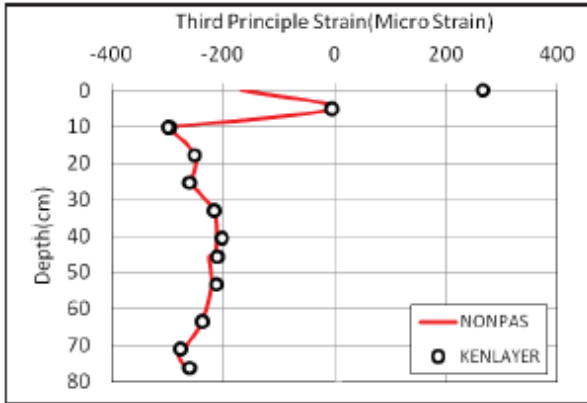
KENLAYER programının üstyapı seviyesine yakın tepkileri tahmin etmedeki yanlışlığı bazı araştırmacılar tarafından zaten araştırılmıştır [1995.Chen et. al]. Asfalt kaplamaların göçme mekanizmalarından biri, asfalt tabakasının yüzeyindeki yatay gerilmenin yoğunluğuna bağlı olan yukarıdan aşağıya çatlaklardır [, NCHRP 2004]. Bu durum, asfalt kaplamaların mekanik-deneyisel tasarım yöntemlerinde asfalt tabakası yüzeyindeki tepkilerin doğru tahmin edilmesinin önemini vurgulamaktadır.



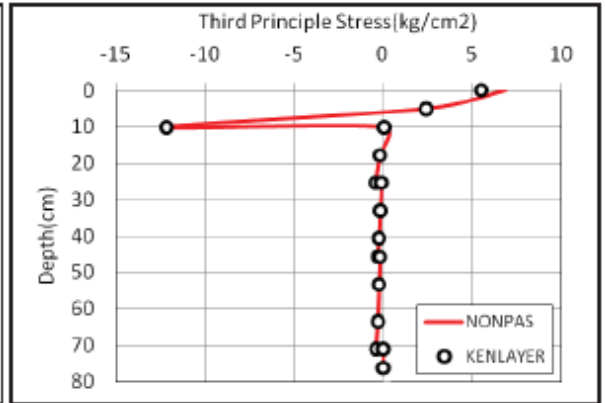
Şekil 5. Tekerleğin ortasındaki büyük ana gerginlik



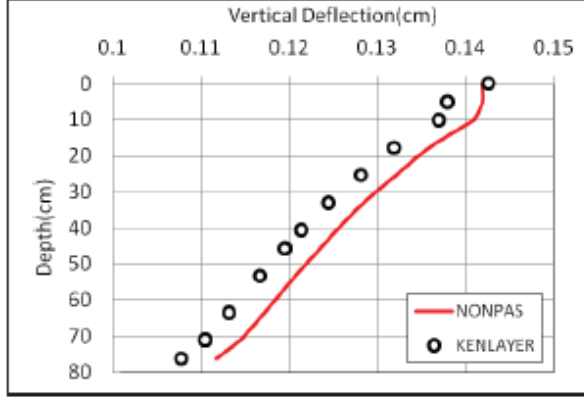
Şekil 4. Tekerleğin ortasındaki büyük ana



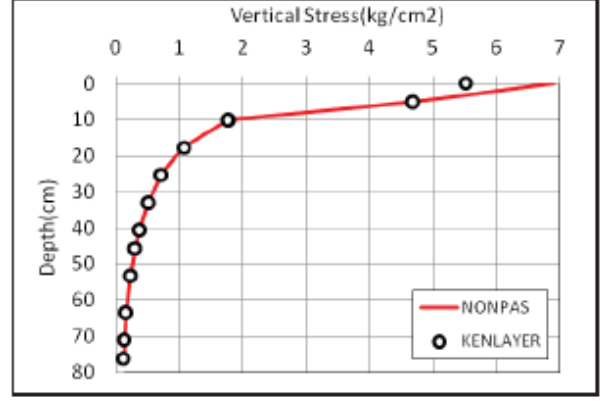
Şekil 7. Tekerleğin ortasındaki küçük ana



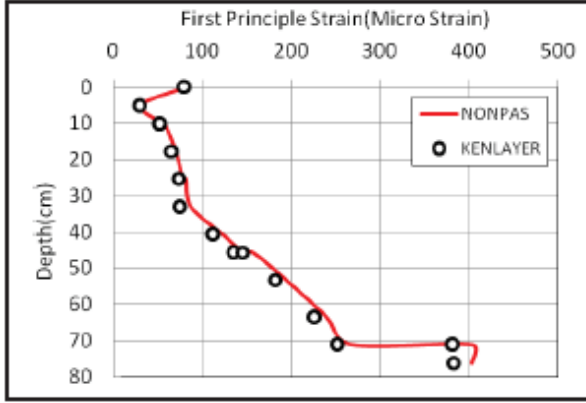
Şekil 6. Tekerleğin ortasındaki küçük ana gerilim



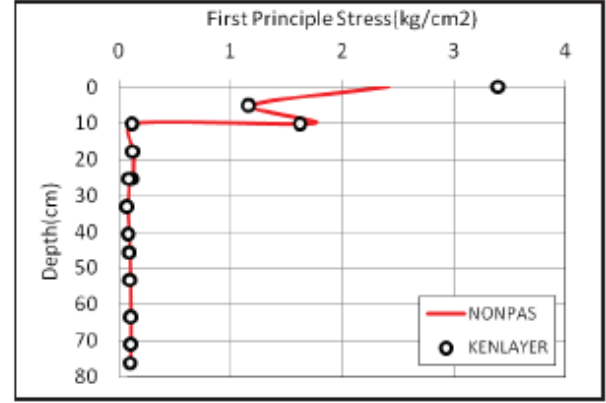
Şekil 9. Tekerleğin ortasına dikey düşme



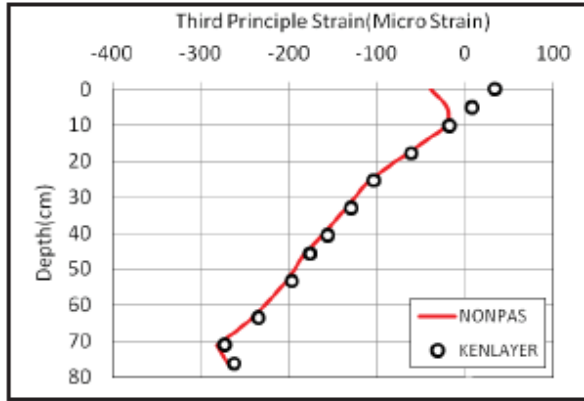
Şekil 8. Tekerleğin ortasındaki dikey gerginlik



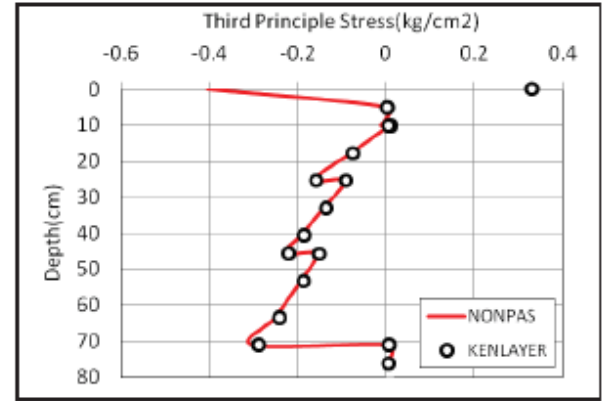
Şekil 11. Yükleme simetrisinin merkezinde büyük



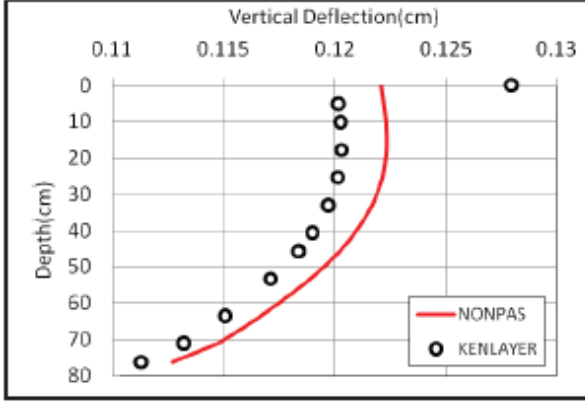
Şekil 10. Yükleme simetri Merkezinde büyük ana



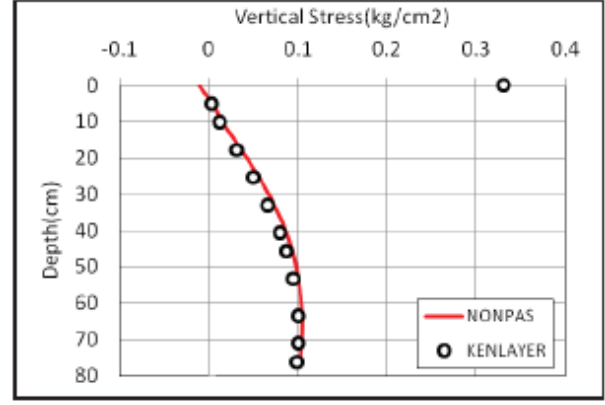
Şekil 13. Yükleme simetrisinin merkezinde küçük



Şekil 12. Yükleme simetrisinin merkezinde küçük



Şekil 15 . Yükleme simetrisinin merkezinde dikey



Şekil 14 . Yükleme simetrisinin merkezinde dikey

NonPAS ve KENLAYER programından elde edilen dalgalanmaları doğrulamak için, kaplama seviyesi toplanma çanağı NonPAS programı ve KENLAYER WinJULEA programları kullanılarak hesaplanmıştır. En doğru çok katmanlı sistem analiz yazılımlarından biri olan winjulea programında kullanılan analiz algoritması, lineer elastik malzemelerle üstyapıların analizi için AASHTO2002 mekanik-deneyel tasarım kılavuzunda kullanılmıştır[NCHRP,2004].

İki çift tekerlek boyunca oturma çanağı ve ikili eksene karşılık gelen iki tekerlek Şekil (16) ve (17)'de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi WinJULEA programı dikey dalgalanma miktarını diğer iki yönteme göre daha az, KENLAYER programı ise dikey dalgalanma miktarını diğer iki yönteme göre daha fazla tahmin etmektedir. NonPAS programından elde edilen dalgalanmaların, program - Wi JULEA sonuçları ile daha iyi yakınsama gösterdiği de görülebilir. Yükleme sahası yakınında NonPAS sonuçları KENLAYER programının sonuçlarına daha yakındır ve siz yükleme sahasından uzaklaştıkça NonPAS sonuçları WinJULEA programının sonuçlarına daha yakındır. Nonpas programından ve WinJULEA programından elde edilen dikey dalgalanmalar arasındaki fark çoğu durumda yaklaşık yüzde üçü geçmez. Çok katmanlı elastik teorisini kullanarak üstyapıyı analiz eden tüm üstyapı analiz programları yaklaşık olarak benzer cevaplar verir [Iran Transportation rsearch Institute,2009]. Bu programların sonuçları arasındaki küçük farkın nedeni, Bessel fonksiyonunun varlığı ve sonsuz yüksek limit nedeniyle analitik olarak hesaplanması mümkün olmayan aşağıdaki integralin hesaplanmasındaki farklı doğruluktan kaynaklanmaktadır.

$$R = \frac{qa}{H} \int_0^{\infty} \frac{R^*}{m} J_1\left(\frac{m.a}{H}\right) dm$$

7

Bu ilişkide, R^* , yükün etkisi altındaki tepkidir $-m \int_0^{\infty} \left(\frac{mr}{H}\right)$, m integrasyon sabiti ve

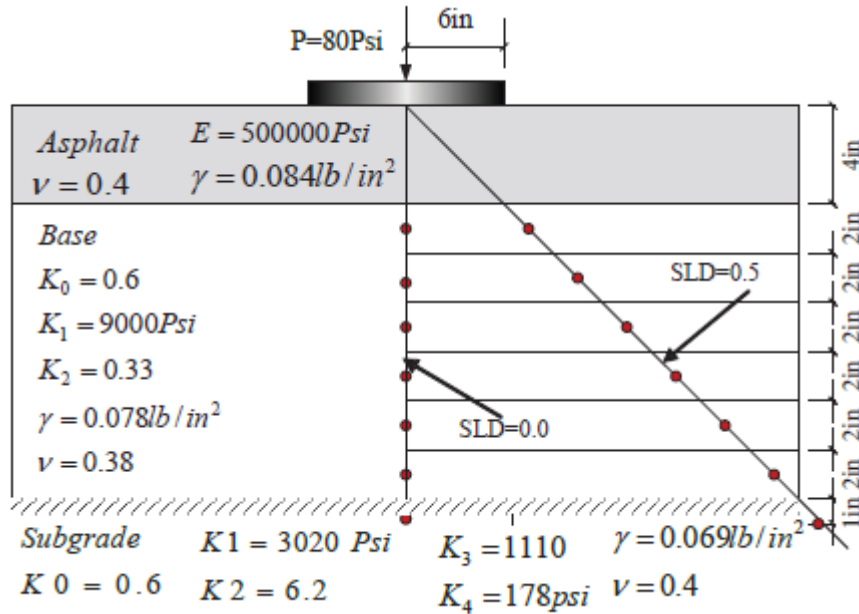
q dairesel yüzey üzerindeki düzgün gerilme, a yük yarıçapıdır ve H, kaplama yüzeyinin derze olan mesafesidir. en alt katmandan.

NonPAS programında bu integral, Bessel fonksiyonlarının 46 noktada sıfır hesabı kullanılarak hesaplanır ve daha sonra bu değerler arasındaki integral (7), KENLAYER programına göre doğruluğu artıran dört nokta Gauss yöntemi kullanılarak yapılır.

5. KENLAYER PROGRAMI KULLANILARAK DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ SONUÇLARININ DOĞRULANMASI

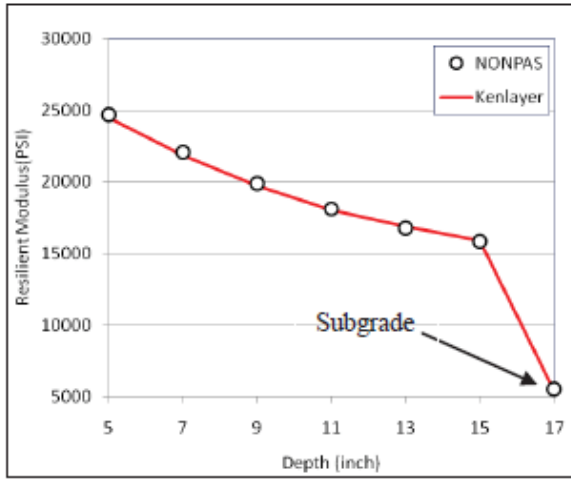
NonPAS programını doğrusal olmayan üstyapı analizinde doğrulamak için, Şekil (18)'ye göre asfalt betonu katmanları, agrega tabanı ve taban toprağı içeren üç katmanlı bir üstyapı sistemi göz önünde bulundurulmuştur. Yükleme, yarıçapı 15 cm (6 inç) ve tekerlek basıncı santimetre kare başına 5.52 kg (inç kare başına 80 pound) olan tek bir tekerlek olarak yapılır. Doğrusal olmayan üstyapı analizi için, temel katman malzemeleri model kullanılarak modellenmiştir ve ince taneli malzemeler için iki hatlı model kullanılarak yataklama malzemeleri modellenmiştir. Her katman için amaçlanan özellikler Şekil (18)'de gösterilmektedir. Doğrusal olmayan üstyapı analizi üç şekilde gerçekleştirilmiştir. Birinci yöntemde taban katmanı 5 cm (2 inç) kalınlığında 6 katmana bölünür ve bu katmanların her birinin ortasındaki gerilme noktası dikkate alınır. İkinci ve üçüncü yöntemlerde, taban katmanı için gerilim noktası sırasıyla 10 cm (4 inç) ve 7.5 cm (3 inç) derinlikte kabul edilir. Temel katmanını birkaç katmana ayırmak ve bu katmanların her biri için stres noktasının dikkate alınması, kaplama tepkilerinin tahminini analiz etmedeki doğruluğu artırır.

Yük dağılımının eğimi, gerilme noktalarının SLD=0 ve SLD=0.5'e eşit konumunu hesaplamak için kabul edilir.

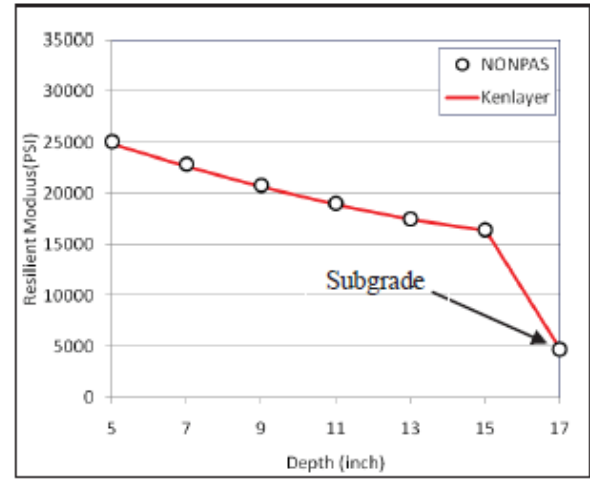


Şekil 18 . Doğrusal olmayan kaldırım analizinin sonuçlarını doğrulamak için temel katmanın kaldırım kesiti ve gerilme noktaları konumu

Şekiller (19) ve (20), iki SLD=0 ve SLD=0.5 modunda derinliğe göre hesaplanan esnek modül varyasyonlarını görüntüler.



Şekil 20. direnç modülünün sld=0.5'deki derinliğe



Şekil 19. esneklik modülünü sld = 0'daki derinliğe

Görüldüğü gibi KENLAYER ve NonPAS programları kullanılarak farklı yalıtım derinliklerinde elde edilen gerici modül birbiriyle çok iyi uyum göstermektedir. Son analiz'in stres noktalarında elastik modülün yakınsamasından sonra yapıldığı göz önüne alındığında, lineer analiz gibi lineer olmayan analiz sonuçlarının KENLAYER programının sonuçlarıyla iyi bir uyum içinde olması beklenir. Sonuçları karşılaştırmak için, alt asfalt telinin yatay çekme şekil değiştirmesi ve yükleme ekseninde yatak yüzeyinin dikey basınç şekil değiştirmesini içeren NonPAS ve KENLAYER tarafından hesaplanan kritik tepkiler karşılaştırılmıştır. Analiz, üç yöntemden herhangi biri kullanılarak yapıldı. Analiz sonuçları Tablo (1) (2)'de verilmektedir. Görüldüğü gibi KENLAYER NonPAS programından elde edilen cevaplar arasında çok iyi bir uyum vardır ve her durumda cevaplar arasındaki fark %1'den azdır.

6. SONUÇ

Mekanik-deneysel yöntemle bir üstyapı tasarlamının ilk adımı, üstyapı analizi ve farklı yükler altında kritik üstyapı reaksiyonlarının hesaplanmasıdır. Bu nokta, gelecekte ülkede mekanik-deneysel üstyapı tasarımı için bir platform olarak kullanılabilen bir üstyapı analiz yazılımı geliştirme ihtiyacını kanıtlamaktadır. NonPAS programı çok katmanlı elastik teorisine dayanmaktadır ve 2 doğrusal olmayan elastik model kullanarak ince taneli ve kaba taneli malzemeler dahil olmak üzere agregaların doğrusal olmayan davranışını modelleyebilen esnek üstyapıların doğrusal ve doğrusal olmayan analizi için geliştirilmiştir. Beş doğrusal olmayan modelin uygulanması, NCHRP 378-1 modeli gibi diğer mevcut uygulamalardan daha yeni modeller kullanılarak daha doğru üstyapı analizine olanak tanır. Gösterildiği gibi, NonPAS programından alınan yanıtlar, KENLAYER programından elde edilen sonuçlarla iyi bir uyum içindedir. Sadece dikey dalgalanmalar durumunda NonPAS ve - KE LAYER sonuçları arasında mükemmel bir eşleşme görülmez, ancak bu durumda bile hata değeri yüzde beşi geçmez. NonPAS programı, KENLAYER programından farklı olarak üstyapı seviyesindeki gerilmeleri ve gerinimleri daha doğru bir şekilde hesaplar. Bu nedenle, NonPAS yazılımının esnek üstyapıların doğrusal ve doğrusal olmayan analizi için güvenilir bir program olarak kullanılabilmesi görülmektedir. Ek olarak, analitik algoritması, mekanik bir tasarım yazılımı - kaldırım geliştirmek için kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- Burmister, D. M. (1943) "The theory of stresses and displacements in layered systems and applications to the design of airport runways", Proceedings, Highway Research Board, Vol. 23, pp. 126-144.
- Burmister, D. M. (1945) "The general theory of stresses and displacements in layered soil systems". Journal of Applied Physics, Vol. 16, No. 2, pp. 84-94.
- Chen, D. H., Musharraf, Z., Laguros, J. and Soltani, Alan (1995) "Assessment of computer programs for analysis of flexible pavement structure" Transportation Research Board, Transportation Research Record, No. 1482, pp. 123-133.
- De Jong, D. L., Peutz, M. G. F. and Korswagen, A. R. (1979) "Computer program BISAR, layered systems under normal and tangential surface loads",
Koninklijke-Shell Laboratorium, Amsterdam, Netherlands.
- Duncan, J. M., Monismith, C. L. and Wilson, E. L. (1968) "Finite element analyses of pavements." Transportation Research Record, 228, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp.18-33. Board, Washington, D.C., pp. 123-131.
- Hayhoe, G. F. (2002) "LEAF-a new layered elastic computational program for FAA pavement design and evaluation procedures." Presented at FAA Technology Transfer Conference, U.S. Department of Transportation, Atlantic City, N.J.
- Huang, Y.H. (2004) "Pavement analysis and design", 2nd Edition, USA: Prentice Hall.
- Jitsangiam, P. and Nikraz, H. R. (2009) "Mechanical behavior of hydrated cement treated crushed rock base as a road base material in Western Australia", International Journal of Pavement Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 39-47
- Khazanovich, L. and Wang, Q. (2007) "MnLayer:High-performance layered elastic analysis program", Journal of Transportation Research Board, 2037, pp.63-75.
- Kim, M., Tutumluer, M. and Kwon, J. (2008) "Flexible pavement response to multiple wheel loading using nonlinear three-dimensional finite element analysis.", Proceeding of 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), Goa, India, pp.4377-4384.
- Kim, M., Tutumluer, M. and Kwon, J. (2009) "Nonlinear pavement foundation modeling for three-dimensional finite-element analysis of flexible pavements",
ASCE, International Journal of Geomechanics, Vol. 9, No. 5, pp. 195-208.
- Kuo, C. M. and Huang, C. W. (2006) "Three-dimensional pavement analysis with nonlinear subgrade", ASCE, Journal of Materials in Civil Engineering,

Vol. 18, No. 4, pp.537-544.

- Mariana R., Kruntcheva, Andrew, Collop, C. and Thom, Nicholas H. (2005) "Effect of bond condition on flexible pavement performance", ASCE, Journal

of Transportation Engineering, Vol. 131, No. 11, pp. 880—888.

- National Cooperative Highway Research Program 1-37A. (2004) "Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures."Final Rep., TRB, National Research Council, Washington, D.C., <<http://www.trb.org/mepdg/home.htm>>.

- Puppala, A. J., Hoyos, L. R. and Potturi, A. K.(2011) "Resilient moduli response of moderately cement-treated reclaimed asphalt pavement aggregates",

ASCE, Journal of Materials In Civil Engineering, Vol. 23, No. 7, pp.990-998.

- Raad, L. and Figueroa, J. (1980) "Load response of transportation support systems" ASCE, Transportation Engineering Journal, Vol. 106, No. 1, pp. 111-128

- Rowshanzamir, M. A. (1995) "Resilient cross-anisotropic behavior of granular base materials under repetitive loading." Ph. D. Dissertation, School of Civil

Engineering, Univ. of New South Wales, Kensington, Australia.

- Sadrnejad, S. A., Ghanizadeh, A. R. and Fakhri, M.(2011) "Evaluation of three constitutive models to characterize granular base for pavement analysis using

finite element method", Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 5, No. 7, pp. 778-786.

- Siripun, K., Nikraz, H. and Jitsangiam, P. (2011) "Mechanical behavior of unbound granular road base materials under repeated cyclic loads." International

Journal of Pavement Research Technology, Vol. 4, No. 1, pp. 56-66.

- Taylor, A. J. and Timm, D. H. (2009) "Mechanistic characterization of resilient moduli for unbound pavement layer materials" NCAT Report 09-06, National

Center for Asphalt Technology Auburn University, Alabama.

- Thenoux, G. and Rodríguez-roa, F. (2008) "Three-dimensional finite element model for flexible pavement analyses based on field modulus measurements." The Arabian Journal for Science and Engineering, Vol.33, No. 1, pp. 65-76.

- Thompson, M. R. and Elliott, R. P. (1985) "ILLIPAVE based response algorithms for design of conventional flexible pavements." Transportation Research Record. 1043, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 50–57.

- Thompson, M. R. and Robnett, Q. L. (1979) "Resilient properties of subgrade soils." Transportation Engineering Journal, ASCE, Vol. 105, No. 1, pp. 71-89.

- Uzan, J. (1985) "Characterization of granular materials."Transportation Research Record 228, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 52–59.
- Uzan, J. (1994) "Advanced backcalculation techniques",Proc., 2nd Int. Symp. on NDT of Pavements and Backcalculation of Moduli, ASTM Special Technical Publications, No. 1198, Philadelphia, pp. 3–37.
- Witzak, M. W. and Uzan, J. (1988) "The universal airport pavement design system, Report I of IV:Granular Material Characterization", University of Maryland, College of Engineering, College Park,MD.
- Ying, H. L., Hsin-Ta, W. and Shao-Tang, Y. (2004) "Parameter studies and verifications on three dimensional finite element analysis of rigid pavements", Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 31, pp.782–796.