

Otomobil Lastiklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Şişirme ve Yükleme Analizi

Ergin Tönük
Araştırma Görevlisi

Y. Samim Ünlüsoy
Profesör

Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
06531 ANKARA

Bu çalışma, sürmekte olan ve tamamlandığında lastiklerin dinamik davranışlarının bilgisayarda modelleneceği bir çalışmanın ilk sonuçlarıdır. İzotropik fakat farklı malzemelerden yapılan iki lastik modeli şişirilerek sürtünmesiz bir yüzeye bastırılmış ve ortaya çıkan deformasyon incelenmiştir. Çalışmanın bundan sonraki bölümlerine de kısaca değinilmiştir.

GİRİŞ

Lastik, taşıt ile yer arasındaki bağlantıyı sağlayan tek eleman olması nedeniyle, taşıtın tüm ağırlığını taşımak, taşıtı hareket ettiren ve durduran kuvvetlerle taşıtın doğrultu kontrolünü sağlayan kuvvetleri yere iletmek gibi üç önemli görevi yerine getirir. Günümüzde, artan taşıt hızları ile birlikte daha güvenli araçlar için lastiklerin de hızla geliştirilmesi zorunluluğu doğmuştur. Diğer araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde olduğu gibi lastik konusunda da fiziksel modeller üzerinde yapılan denemelerden önce, iyi bir bilgisayar modeliyle daha kısa bir sürede daha düşük maliyetle bir çözüm aranmakta, bilgisayarla bulunan çözüm model ile de denenmektedir. Bu çalışmanın tamamlanmasından elde edilecek dinamik lastik modeli de bu amaca yöneliktir.

Çalışmanın ilk aşaması olan statik ve izotropik lastik modeli bu çalışmada sunulmuştur. Bu modelde şişirilen bir otomobil lastiğininin sürtünmesiz olarak yere bastırıldığı zamanki davranışı bir paket program kullanılarak [1] incelenmiştir.

LASTİK MODELİ

Bu modelde kullanılan lastik için geometrik veriler 155 R 13 78 S çelik kuşaklı radyal lastikten

alınmıştır ve Tablo 1'de verilmiştir. Bu değerler lastiği üreten firmanın kataloglarından alınmıştır. Tablo 2'de ise bu modelde kullanılan çeşitli lastik malzeme özellikleri sunulmuştur.

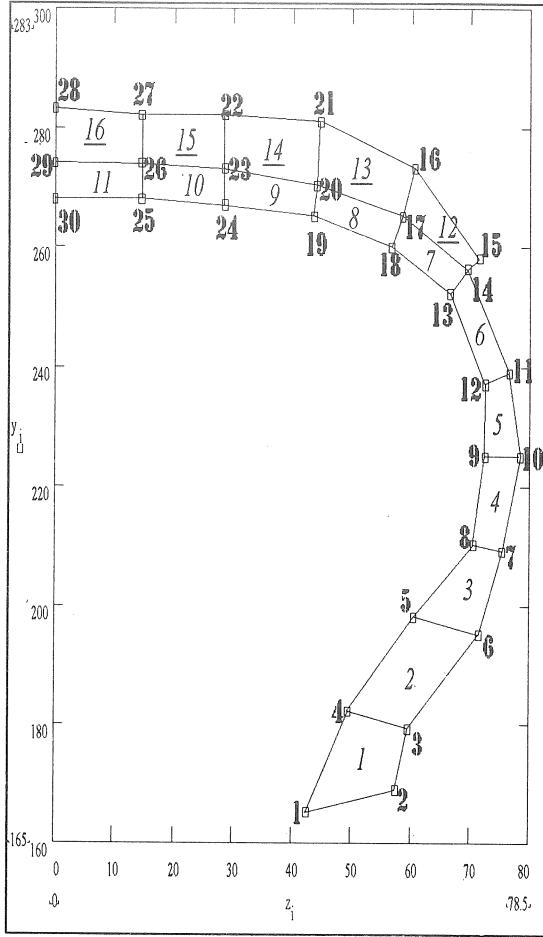
Tablo 1. 155 R 13 78 S Lastiğinin Geometrik Özellikleri.

Tavsiye Edilen Jantlar	4.50x13B veya 5.00Bx13
Şişirilmiş Kesit Genişliği	157 mm
Şişirilmiş Dış Çap	578 mm
Lastik Başına Azami Yük	4220 N (430 kgf)
Azami Yükte Hava Basıncı	220 kPa (32 lb/in ²)

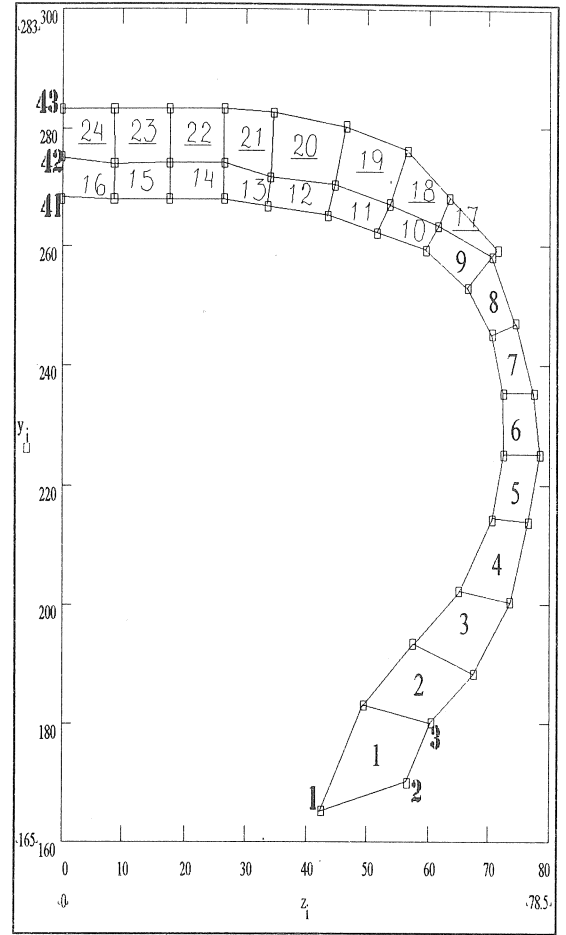
Tablo 2. Lastiğin Malzeme Değerleri.

Elastisite Modülü [MPa]	
Sadece Lastik	1
Kordlar	66.6
Poisson Oranı	0.45

Şekil 1 ve 2'de lastik kesiti için kullanılan iki farklı tip ağ gösterilmiştir. Şekil 1'de 1'den 11'e kadar numaralanan elemanların içinde tekstil ve/veya çelik kuşak olduğu, 12'den 16'ya kadar olanlarınsa yalnızca lastik olduğu varsayılmıştır. Şekil 2'de ise daha sık bir ağ için kullanılan profil gösterilmiştir. Burada da 1 ile 9



Şekil 1. Lastik Profilinde Kullanılan Kaba Ağ.



Şekil 2. Lastik Analizinde Kullanılan İnce Ağ.

elemanlar arasında malzemenin lastik içinde tekstil karkası, 10 ile 16 arasında lastik içinde çelik ve tekstil karkası, 17 ile 24 arasındaysa yalnızca lastik olacak biçimde hazırlanmıştır. Şekil 3'de Şekil 1'deki profil kullanılarak elde edilen lastik elemanları gösterilmiştir. Bu model Şekil 1'deki profilin tekerlek dönme eksenini çevresinde önce 5 derece aralıkla altı kez kopyalanmasından, ardından da 30 derece aralıklarla beş kez kopyalanmasıyla elde edilmiştir ve 176 elemandan oluşmaktadır. Şekil 4 ise Şekil 2'deki elemanların tekerlek dönme eksenini çevresinde önce 2 derece aralıkla on beş kez kopyalanmasından, ardından da 15 derece aralıkla on kez kopyalanmasından elde edilmiştir ve 600 elemandan oluşmaktadır. Kullanılan modellerde lastiğin 5.00Bx13 jant üzerinde olduğu varsayılmıştır.

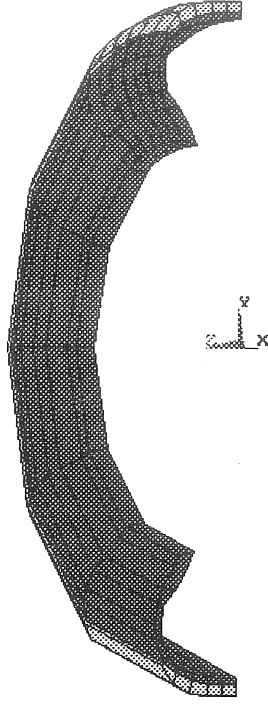
Modelde kullanılan sınır koşulları şunlardır: Jantı modellemek için 1, 2 ve 3 numaralı düğümlerin her üç yöndeki serbestileri kısıtlanmıştır. Profildeki simetriyi sağlamak için Şekil 1'deki profilin 28, 29 ve 30 numaralı düğümleri, Şekil 2'deki profilinse 41, 42 ve 43 numaralı düğümlerinin z yönündeki serbestisi kısıtlanmıştır. Ayrıca lastik yarım çember şeklinde olduğu için serbest yüzeydeki düğümlerin x serbestileri kısıtlanmıştır. Lastiğin iç basıncı ise modelin iç

yüzeyindeki düğümlere bu basıncın sınır koşulu olarak verilmesiyle tanımlanmıştır.

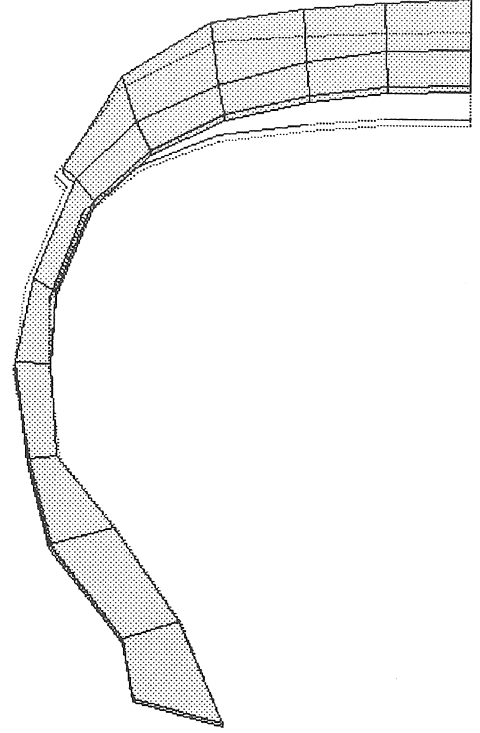
Ridha [2] tarafından hazırlanan, homojen ve izotropik bir lastiğin yer ile temasını inceleyen modelde de aynı sınır koşulları ve bir kesit için 28 eleman, Faria [3] tarafından hazırlanan aynı amaca yönelik anizotropik lastik modelinde ise bir kesit için 18 eleman kullanılmıştır. Her iki modelde de lastikte oluşan deformasyonlar ve temas yüzeyinin şekli incelenmiş Faria lastikteki simetrisinin kullanımıyla bilgisayar zamanındaki tasarrufu göstermiştir. Rothert [4] ise kordları olmayan bir lastiği sonlu elemanlar yöntemiyle incelemiş ve sonuçları deneysel olarak doğrulamıştır. Bu modelde elastisite modülü sabit olmayıp genleme ile artmaktadır.

LASTIĞIN ŞİŞİRİLMESİ

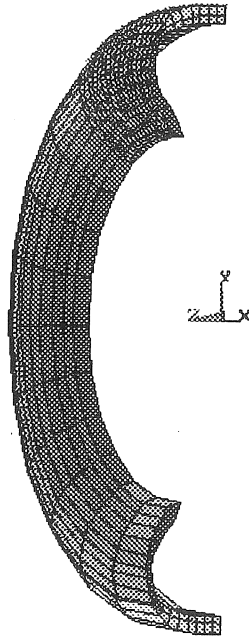
Şekil 1 ve 3'te gösterilen kaba ağılı modele 180 kPa iç basınç uygulandığında büyük deformasyonlu modelde 10 yükleme basamağında ve 43 denge çevriminden sonra, Şekil 5'deki şişirilmiş profil elde edilmiştir. Şekildeki deformasyonlar abartılı biçimde gösterilmiştir ve Tablo 2'de verilen malzeme değerleri kullanıldığında 566 mm olan şişirilmemiş lastik



Şekil 3. Paket Programda Kullanılan Lastik Modeli (Kaba Ağ).



Şekil 5. Lastiğin Şişirilmiş Profili (Normal Profil Noktalı Olarak Gösterilmiştir).

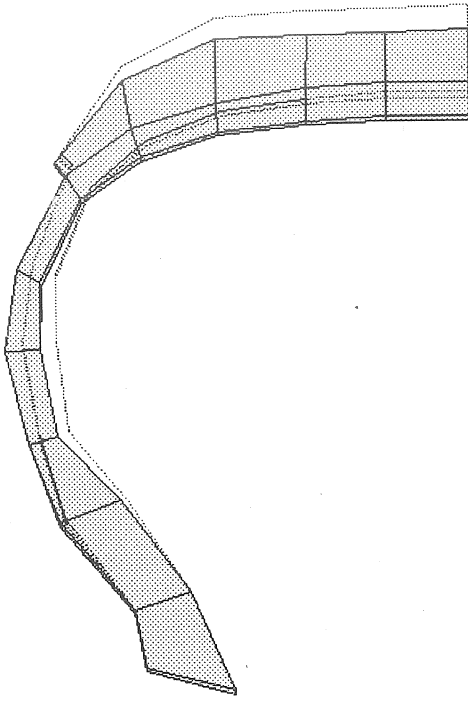


Şekil 4. Paket Programda Kullanılan Lastik Modeli (İnce Ağ).

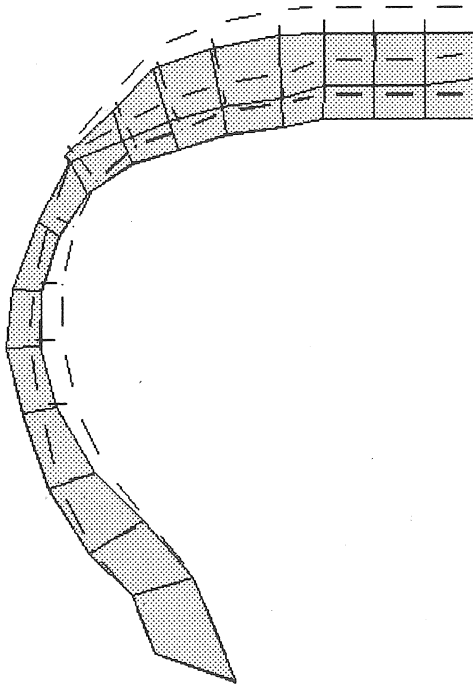
çapından katalog değeri olan 578 mm şişirilmiş lastik çapı elde edilmiştir.

LASTIĞIN YERE BASTIRILMASI

Modelleme çalışmasının ikinci aşaması şişirilmiş lastik modellerinin sürtünmesiz, rijit bir yüzeye bastırılmasıdır. İlk deneme Şekil 1 ve 3'de gösterilen modelin 35 temas elemanı ile ve 180 kPa iç basınçla yere bastırılmasıdır. Yer tekerlek merkezinden 290 mm uzağa yerleştirilmiştir ve tekerleğe doğru 20 mm yaklaşmıştır, yani şişirilmemiş lastik profili 14 mm, şişirilmiş lastik profilyse 19 mm bastırılmıştır. Oluşan deformasyon Şekil 6'da abartılı olarak gösterilmiştir. Bu model anılan programla bir deneme olarak yapılmıştır ve böyle kaba bir ağ ile temasın pek de hassas sağlanamayacağı açıktır. Bu nedenle Şekil 2 ve 4'te gösterilen daha ince ağ ile oluşturulan model 126 temas elemanı ile ve 180 kPa iç basınçla yere bastırılmıştır. Bu durumda da yer tekerlek ekseninden 300 mm uzağa yerleştirilmiştir ve tekerlek merkezine 51 mm yaklaşmıştır. Bu durumda şişirilmiş lastik profili 40 mm deforme edilmiştir ve temas modeli yine sürtünmesizdir. Bu modelde malzeme yine izotropik kabul edilmiştir ve kullanılan malzeme değerleri Tablo 3'te sunulmuştur. Deforme olmuş lastik ise Şekil 7'de abartılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 6. Kaba Ağılı Lastikte Yere Basma Sonucu Oluşan Deformasyon.



Şekil 7. İnce Ağılı Lastikte Yere Basma Sonucu Oluşan Deformasyon.

Tablo 3. İnce Ağılı Lastik Modelinde Kullanılan Elastik Sabitler.

Elemanlar	Elastisite Modülü [MPa]	Poisson Oranı
Lastik (17-24)	1	0.45
Kumaş Karkaslı Lastik (1-9)	15	0.45
Kumaş ve Çelik Karkaslı Lastik (10-16)	66	0.45

SONUÇ

Bu çalışma otomobil lastiklerinin dinamik davranışlarını modellemede kullanılacak geniş kapsamlı bir modelin oluşturulmasında ilk adımdır. Yukarıda anılan iki model lastiklerin statik modeli olmakla birlikte şu nedenlerden dolayı fazlasıyla basitleştirilmiş modellerdir ve lastiklerin durağan davranışı hakkında da kaba bir fikir vermektedir. Daha gerçekçi bir modelin elde edilmesi için aşağıda sıralanan noktalar da gözönüne alınmalıdır.

1. Lastik ile yer arasında 0.85 ile 1.15 arasında değişen ve lastik ve yer özelliklerine bağlı, ihmal edilemeyecek düzeyde sürtünme vardır [5-7].

2. Lastik, içinde bulunan kumaş ve/veya çelik karkas yüzünden izotropik olmaktan oldukça uzaktır. Nitekim literatürde Walter [8] tarafından çapraz kuşaklı HR78-15 otomobil lastiği için verilen değerler bu durumu açıkça göstermektedir. Anılan çalışmadaki değerler şöyledir: $E_1=1.74$ GPa, $E_2=14.1$ MPa, $G_{12}=2.5$ MPa, $\nu_{12}=0.547$, $\nu_{21}=0.004$, burada 1 lif yönü, 2 ise buna dik yönü göstermektedir.

3. Lastikte oluşan deformasyonlar ve yer değiştirmeler oldukça büyüktür.

Araştırmanın bundan sonraki aşamalarında yapılması tasarlanan çalışmalar ise aşağıda sıralanmıştır:

1. Paket program içinde temas elemanlarıyla birlikte bulunan kuru sürtünme modeli kullanılacaktır.

2. Walter [8] tarafından önerilen ve konuyla ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanılan Halpin-Tsai denklemleri kullanılarak ortotropik malzeme özellikleri elde edilen lastik için hesaplanacak ve ortotropik malzeme modeli kullanılacaktır.

3. Büyük deformasyonlar gözönüne alınacaktır.

Yukarıda anılan üç maddenin gerçekleştirilmesiyle daha gerçekçi durağan lastik modeli elde edilecektir. Ancak bu modelin bilgisayarda çözüm süresinin burada sunulandan oldukça uzun olacağı da beklenmektedir. En son aşama ise dinamik lastik modelinin oluşturulması ve deneysel doğrulanması olacaktır. Bu amaçla bir dinamik lastik deney düzeneği Orta Doğu Teknik Üniversitesi Otomotiv Laboratuvarında kurulmaktadır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmanın yürütülmesi sırasında kullanılan yazılım ve donanımı sağlayan ODTÜ-BİLTİR Merkezine teşekkür eder.

MODELING OF INFLATION AND LOADING OF PNEUMATIC TIRES BY FINITE ELEMENT ANALYSIS

This paper presents a preliminary study to model the dynamic behavior of pneumatic tires. Two finite element, isotropic tire models made of different materials were inflated and pressed to a frictionless ground and the resulting deformations are analysed. Plans for future work are summarized.

KAYNAKÇA

1. ANSYS Swanson Analysis Systems Inc. Sonlu Elemanlar Analiz Programı Versiyon 5.0.
2. Ridha, R.A., Satyamurthy, K., Hirschift, L.R., Finite Element Modeling of a Homogeneous Tire Subjected to Footprint Loadings, *Tire Sci. Technol.* 13 (1985) 2, 91-110.
3. Faria, L.O., Oden, T.J., Yavari, B., Tworzydło, W.W., Bass, J.M., Becker, E.B., Tire Modeling by Finite Elements, *Tire Sci. Technol.* 20 (1992) 1, 53-56.
4. Rothert, H., Idelberger, H., Jakobi, W., Laging, G., On the Contact Problem of Tires Including Friction, *Tire Sci. Technol.* 13 (1989) 2, 111-123.
5. Gim, G., Nikravesh, P.E., An Analytical Model of Pneumatic Tires for Vehicle Dynamic Simulations. Part 1: Pure Slips, *Int. J. Vehicle Design*, 11 (1990) 6, 589-618.
6. Fancher, P.S., Bareket, Z., Including Roadway and Tread Factors in a Semi-Emprical Model of Truck Tires, *Proceedings of 1st International Colloquium on Tire Models for Vehicle Dynamics Analysis*, 92-107, Delft, 1991.
7. Maalej, A.Y., Guenther, D.A., Ellis, J.R., Experimental Development of Tyre Force and Moment Models, *Int. J. Vehicle Design*, 10 (1989) 1, 34-50.
8. Walter, J.D., Cord-Rubber Tire Composites: Theory and Applications, *Rubber Chem. Technol.*, 51 (1978) 524-576.