



TAŞIT DİNAMIĞI UYGULAMALARINDA KULLANILAN LASTİK TEKERLEK MODELLERİ VE TAŞIT KAZA SİMULASYONLARINDA KULLANILMALARI

Osman ELDOĞAN

PAÜ Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü

ÖZET

Taşıt ile yol arası ilişki lastik tekerlek ile olduğu için tekerlek modeli, taşıt modellemelerinde çok büyük öneme sahiptir. Taşıt modelleri, taşıt tasarımında kullanılan dinamik modeller olabileceği gibi kaza simülasyonlarında kullanılan modeller de olabilir. Bu önemi dolayısıyla tekerlek modellemesi üzerine çok sayıda çalışma yapılmış olup, bu modellemelerde teorik, deneysel ve bu ikisi arası değişik kombinasyonlar kullanılmıştır. Bu çalışmada tekerlek modellerinin gelişimi ve yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiş ve bunların trafik kaza simülasyonlarında kullanılmaları hakkında bir değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Tekerlek Modelleri, Taşıt Dinamiği, Kaza Simülasyonu

TIRE MODELS USED IN VEHICLE DYNAMIC APPLICATIONS AND THEIR USING IN VEHICLE ACCIDENT SIMULATIONS

ABSTRACT

Wheel model is very important in vehicle modelling, it is because the contact between vehicle and road is achieved by wheel. Vehicle models can be dynamic models which are used in vehicle design, they can also be models used in accident simulations. Because of the importance of subject, many studies including theoretical, experimental and mixed type have been carried out. In this study, information is given about development of wheel modelling and research studies and also use of these modellings in traffic accident simulations.

Key Words : Tire Models, Vehicle Dynamics, Accident Simulation

1. GİRİŞ

Tekerlek modelleri, tekerlek-yol arası ilişkiyi incelemek için kullanılan matematik modellerdir. Tekerlek modellemesi 2 maksatla yapılmaktadır. Birincisi, tekerlek mekaniğini anlamak, ikincisi ise seçilen tekerlek-taşıt kombinasyonlarının simülasyon çalışmalarıdır. Tekerlek-taşıt simülasyonlarında kullanılan tekerlek modelleri, ölçüm dataları yerine geçmek üzere kullanılırlar. Fiyat yönünden uygun olması için mümkün olan tekerlek-yol arası mekanik özellikleri vermesi, model için yeterlidir. Trafik kaza incelemeleri açısından tekerlek modelleme çalışmalarına bakacak olursak; bilhassa çarpma öncesi

ve çarpma sonrası fazlarında taşıta etkiyen dış kuvvetlerin en büyük bölümü tekerlek-yol ilişkisiyle oluşan kuvvetlerden gelmektedir. Dolayısıyla simülasyonda tekerlek modelinin çok büyük bir önemi vardır.

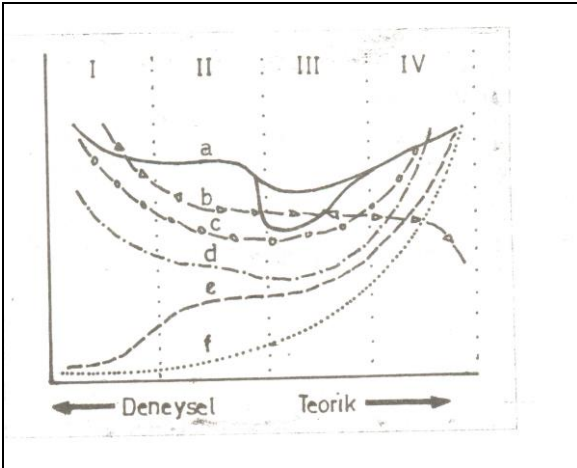
2. TEKERLEK MODELLENMESİ

Çeşitli taşıt dinamiği problemleri için çok sayıda tekerlek modeli geliştirilmiştir. Her biri özel maksatlarla yapılan bu modeller, farklı doğruluk ve komplekslikte olduğu gibi kullanım bakımından da farklı kategorilerde olabilmektedirler.

Tekerlek dinamik özellikleri üzerine yapılan teorik çalışmaların çoğu, lineerlik veya birbirinden bağımsız karakteristikler üzerine kurulmuştur. Ancak bu karakteristikler nonlinear ve birbiri ile ilgilidirler. Diğer çalışmalar ise yapılan deneyler üzerine kurulmuştur. Fakat deneysel çalışmalar da pahalı ve sonuçlar genellikle değişen şartlara göre değişmekte, her değişen şart için yeni deneyler yapılması gerekmektedir.

Bu modeller temelde 2 grup altında ele alınabilir: geçici ve sabit rejim modelleri. Her bir grup modeller empirik, analitik veya her ikisinin kombinasyonu şeklinde olabilir. Probleme yaklaşım bakımından çeşitli çalışmaların durumları Şekil 1 de gösterilmektedir. Şekilde, tekerlek modellerinin farklı yönleri alınarak, model gruplarının etkileri gösterilmektedir. İki uçta bulunan teorik ve empirik (deneysel) modellerde, deney ve modeller arası yüksek uygunluk elde edilmesine rağmen, yapılması gereken deney ve belirtilmesi gereken tekerlek parametreleri fazladır.

1. grup empirik modeller olup, girdi-çıkı ilişkisi çok sayıda tekerlek testine dayanır. Deney sonuçları tablolştırılır ve sayısal metotlarla empirik olarak formüle edilirler. Deneylere dayanmaları sebebiyle güzel sonuçlar elde edilir. Çok iyi yaklaşıklıklar istenen taşıt dizaynı çalışmalarında kullanılırlar. Yapılması gereken deney sayısı çok fazla olduğu için, ancak sınırlı sayıda tekerleğin modellenmesi yapılır.



Şekil 1-Tekerlek modeli geliştirilmesindeki kategoriler (Pacejka, 1987)

(a-Uygunluk derecesi, b-Yol deneyi sayısı, c-Parametre sayısı, d-Gayret, e-Tekerlek davranışlarındaki uyum, f-Özel deney sayısı)
Grup 1- Sadece deneysel çalışmalarla, eğri uydurma ile oluşturulan modeller

Grup 2- Temel eğriler kullanılarak türetilen modeller

Grup 3- Basit teorik modeller

Grup 4- Kompleks teorik modeller

4. grup ise kompleks, teorik modellerdir. Bu modellerde çok sayıda tekerlek testinin yapılmasını gerektirmektedir. Buna bir örnek olarak Sakai'nin 1981'deki çalışmasını verebiliriz. Modelde 6 kuvvet ve

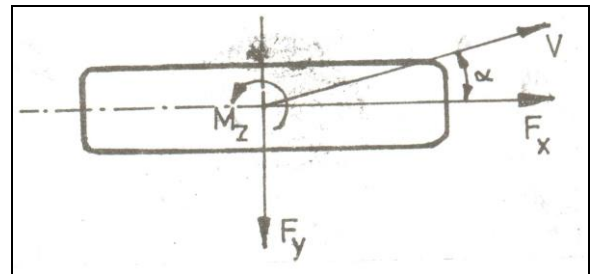
moment bileşeni kullanılmıştır. Lastik dinamiği, kamber açısı, tekerlek basıncı gibi faktörler modelde kullanılmış, lineer olmayan diferansiyel denklemlerle çözüm yapılmıştır.

Basit teorik modeller, yanal ve aksel rijitlikler gibi tekerlek parametrelerini kullanırlar. Basit ve az sayıda tekerlek testini gerektirip, diferansiyel denklem kullanmazlar. Genellikle düzlemsel olup, sadece tekerlek-yol temas bölgesi modellenir.

Grup 1 ve 4 kaza rekonstrüksiyonunda çok nadir olarak kullanılırlar. Daha ziyade basit, empirik modeller, mesela düşük derece polinomlarla deney sonuçları yaklaşıtırlmış modeller ve sürtünme dairesi veya elipsi kullanılır.

2.1. Tekerlek Modellerinin Gelişimi

Tekerlek dinamik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar 1930'ların başlarına kadar gitmektedir. Bradley ve Allen (1931) otomobil dinamik özelliklerini incelerken, tekerlek üzerine de çalışmışlardır (Gim vd, 1990). Yine, yola göre tekerleğin doğrultusu ve hareketindeki kuvvet ve momentler üzerine Becker, Fromm ve Maruhn (1931) Berlin'de ölçümler yapmışlardır (Bernard vd,1977). Koesler ve Klaue (1937) fren kuvvetinin kayma oranıyla ilgili olduğunu buldular (Gim vd, 1990). Wilkinson (1953) buzda lastik sürtünme katsayısının yük artarken azaldığını ve belli bir hızda maksimum değer aldığını gösterdi (Gim vd, 1990). Lippmann geçici rejim halinde tekerlek kuvvetlerini laboratuvar çalışmalarıyla incelemiş, direksiyon açısına göre yanal hareket açısıyla yanal kuvvet arası ilişkiyi göstermiştir (Lippmann, 1954). Schallmach (1958) lastik sürtünme katsayısının ısıya bağlı olarak belli bir hızda maksimuma ulaştığını gösterdi (Gim vd, 1990). Nordeen ve Cortese (1963), Krempel (1965) ve Henker (1968) yanal kuvvet ve geri çevirme momentinin değişiminin, fren ve tahrik kuvvetlerinin değişmesiyle ilgili olduğunu gösterdiler.



Şekil 2 - Tekerleğe etki eden moment ve kuvvetler

(V -Tekerlek hız vektörü, F_x -Eksenel kuvvet, F_y -Yanal kuvvet, α -Yanal hareket açısı, M_z -Geri çevirme momenti)

Tekerlek yanal kuvvetini izah etmek için ilk ortaya atılan teorik modellerden biri De Carbon modelidir. Bu modelde tekerlek, yuvarlak bir fırçaya benzetilmiştir.

Bundan sonra tamamen farklı bir model olan Von Schlieppe-Dietrich modeli (1941) gelir. Almanya'da 3 tekerlekli iniş takımları incelenirken ortaya atılmış, tekerlek sırtı elastik zemin üzerinde gergin tel olarak düşünülmüştür. Yanal kuvvet ve momentler kütsüz tekerlek için yola bağlı olarak hesaplanmıştır (Erzi; Segel, 1965). Bundan sonra her iki modeli birbiri ile kombine eden Fiala modeli gelir. Tekerlek yanal özellikleri üzerine ilk kapsamlı teorik çalışma Fiala tarafından yapıldı. Fiala'nın geliştirdiği bu ilk teorik model daha sonraki birçok çalışma için referans olmuştur. Modelde lastik, elastik zeminde bulunan bir giriş ve buna bağlı elastik elemanlardan meydana gelmektedir. Teorik olarak bulunan yanal kuvvet değerleri, deney sonuçlarıyla çok iyi bir benzerlik gösterdi. Ancak, bilhassa geri çevirme momentinde teorik ve deneysel sonuçlar arası uygunluk pek iyi değildi (Fiala, 1954).

Fiala'nın yapmış olduğu bu teorik çalışmadan sonra çok sayıda araştırmacı teorik tekerlek modeli oluşturma üzerine çalışmış, çalışmalarda bilhassa Fiala'nın modeli örnek alınmıştır. Yapılan çalışmalar hakkında bilgi verebilmek için, çalışmalardan bazıları tarihi seyri içerisinde aşağıda sıralanmıştır.

Radt ve Milleken empirik bir model geliştirmişler, teorik çalışmalar için Fiala'nın modelini örnek almışlar ve modellerinde sadece yanal kuvveti hesaplamışlardır (Radt vd, 1960). 1983'te yaptıkları çalışmalarında ise daha önceki çalışmalarını geliştirerek yanal kuvvet ve geri çevirme momenti için yön verme açısı, kamber açısı, yük ve sürtünme katsayısının, fren kuvveti için yanal kayma oranı, yön verme açısı, yük ve sürtünme katsayısının fonksiyonu olarak boyutsuz bir model geliştirmişlerdir (Radt vd, 1983).

Freeman (1960) yanal kaymayla meydana gelen kuvvetlerle ilgili olarak yaptığı deney sonuçlarını yayınladı. Freeman'ın ölçümleri yayınlamasından sonra yapılan çeşitli çalışmalarla, teorik olarak bu değerler bulunmaya çalışıldı, ki bu sonuçlar Bergman'ın geliştirdiği teori ile de bulundu (Bernard vd, 1977).

Bergman (1961) ilk kez yanal radyal ve eksenel elastik yay elemanları kullanarak frenlemede yanal özellikler üzerine çalışma yaptı (Gim vd, 1990).

Metcalf tekerleğe sabit bir açı verilmesi hali için yarı empirik bir model geliştirmiştir (Metcalf, 1963).

Nothstine ve Beauvais yanal kuvvet, yanal hareket açısı ve geri çevirme momentini deneysel ve Fiala modeline benzer bir modelle incelemiştir (Nothstine vd, 1963).

Segel, von Schlippe ve Dietrich'in çalışması üzerine kurduğu modelinde yanal hareketteki kuvvet ve momenti incelemiştir (Segel, 1965).

Sakai (1969) yanal ve eksenel (çeki/fren) kuvvetlerin hesaplanması için Fiala'nın modeline benzer bir model seçmiştir. Analitik olup, yanal ve fren kuvveti ile geri çevirme momentini hesaplamaktadır (Sakai, 1971). Ayrıca Sakai'nin 1981'de yapılmış çok kapsamlı teorik bir çalışması da vardır (Sakai, 1981-1982).

Dugoff, Fancher ve Segel sürtünme katsayısını tekerlek kayma hızının fonksiyonu olarak aldı. Modelde yanal ve fren kuvvetleri hesaplanmaktadır. Analitiktir (Dugoff vd, 1970).

Livingston ve Brown (1969-1970) tekerlek yanal özelliklerine temas bölgesi basınçlarının üniform, eliptik ve parabolik olmasının etkilerini incelediler (Gim vd, 1990).

Nakatsuka ve Takanami empirik olarak sadece yanal kuvveti hesaplayan bir model geliştirmiştir (Nakatsuka vd, 1970).

McHenry empirik olarak sadece yanal kuvveti hesaplayan bir model geliştirmiştir (McHenry, 1971).

Geniş bir deneysel çalışma Geyer (1971) tarafından yapıldı ve lastik bloğun sürtünme katsayısının sıcaklık, hız, malzeme, yüzey ve şekille nasıl değiştiği incelendi (Gim vd, 1990).

Nguyen ve Case (1975) daha önce geliştirilen sürtünme modellerini inceledi ve benzer ve farklı yönlerini gösterdi (Gim vd, 1990).

Bernard, Segel ve Wild yarı empirik bir model geliştirdi. Dugoff'un çalışması üzerine kurduğu modelde yanal ve eksenel kuvvetin ayrı ayrı ve birlikte bulunması durumu hesapları yapılmıştır. Bulunan sonuçlar, deney sonuçlarıyla %5'lik bir yaklaşıklık göstermektedir (Bernard vd, 1977).

Pacejka'nın konu üzerine yapmış olduğu çok sayıda çalışması vardır. Fiala'ninkine benzer bir model kurmuştur. Giriş yerine gergin tel kullanmıştır (Pacejka, 1987). Yine Bakker, Nyborg ve Pacejka (1987) yanal kuvvet, fren kuvveti ve geri çevirme momentinin analitik hesabı için bir model geliştirmişlerdir (Gim vd, 1990).

Allen, Rosenthal ve Szostak, Sakai (1981) ve Radt & Milleken (1983) in çalışmaları üzerine bir model kurmuştur (Allen vd, 1987).

Yamazaki, Ogasawara ve Akasaka Fiala'nın modelinden hareket ederek, karkas kordlarının genişlemediği kabulü ile radyal tekerleğin yanal rijitliğini incelemiştir. Çalışmalarında tekerleğin çevre yönündeki genişleme ve yan yüzlerin bükülmesini, enerji metodu kullanarak çözmüşlerdir (Yamazaki vd, 1988).

Gim ve Nikraves (1990-1991) analitik bir model geliştirmişlerdir. Modelde, deneysel olarak tesbit edilen

rijitlik değerleri, geometrik datalar ve sürtünme parametreleri istenmektedir. Verilen doğrultu ve hızda tekerleğe etkiyen normal, aksel ve yanal kuvvetlerle geri çevirme momenti hesaplanmaktadır. Tekerlek, yaylarla modellenmiş olup (Bergman-1961 gibi) atalet özellikleri ihmal edilmiştir. Yanal ve aksel kuvvetler için alınan sonuçlar, deneylerle büyük uygunluk göstermekte, ancak geri çevirme momenti bunlar kadar uygun sonuç vermemektedir (Gim vd, 1990, 1991a, 1991b).

Yapılan çalışmalara ülkemizden de bir örnek olması bakımından Kuralay'ın çalışmasından söz edebiliriz. Model, Fiala (1954), Bergman (1961), Sakai (1971) ve Dugoff v.d. (1970) nin çalışmaları üzerine kurulmuş olup, lastik kuvvet ve momentleri hesaplanmıştır (Kuralay, 1988).

3. KAZA SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI YÖNÜNDE TEKERLEK MODELLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kaza simülasyon çalışmalarında çarpışma öncesi ve çarpışma sonrası taşıt hareketini incelemek için kullanılan yörünge hesaplamalarında 3 model kullanılır. Bunlar; taşıt dinamiği modeli, tekerlek modeli ve sürtünme katsayısı modelidir.

Daha önce de belirtildiği gibi taşıta, çarpışma öncesi ve çarpışma sonrası fazlarda etki eden dış kuvvetlerin en büyük bölümü, genellikle tekerlek/yol arası ilişki ile olur. (Hatta Wooley, 1985'e göre çarpışma fazında da tekerlek kuvvetlerinin etkisi büyüktür. Bunu anlamak için bir örnek verecek olursak, çarpışmayla olacak 80 km/h lik bir hız değişimi için, toplam impulsa göre tekerlek impulsunun oranı %4, 35 km/h lik bir hız değişimi için ise %22'dir.). Bu durum ise kazada taşıtın hareketinin yörüngesinin hesaplanmasında tekerlek ve sürtünme katsayısı modellerinin önemini artırmaktadır.

Kaza simülasyonlarında, geliştirilen tekerlek modellerinin kullanılabilmesi için, taşıt dinamiğinde aranılan özelliklerden farklı özellikler de aranmaktadır. Yanal kuvvet, fren kuvveti ve geri çevirme momentini bulmak için kullanılan tekerlek modellerinin, kaza simülasyonu yönünden incelenmesi yapıldığında, öncelikle, teorik ve empirik olarak geliştirilen modellerde amaç, genellikle normal manevra yapan taşıtların dinamiğini incelemek olduğu için, kaza simülasyon çalışmalarında kullanmada modellerin hepsinin uygun olmadığı görülmektedir. Bu açıdan modellerin genel bir değerlendirilmesini yapacak olursak şunları sıralayabiliriz:

1- Modellerde genellikle yanal, aksel kuvvetler ve geri çevirme momenti beraberce modellenmemektedir.

Bazılarında yanal ve aksel kuvvetler modellenmekte, bazılarında ise, mesela Nakatsuka vd, 1970 ve McHenry,1971 gibi, sadece yanal kuvvet modellenmektedir. Bu modellerin kaza simülasyonlarında kullanımı ise söz konusu olmamaktadır.

2- Modellerin basitliği açısından bakacak olursak, empirik modeller, teoriklere göre daha fazla tekerlek parametresi istemektedirler.

3- Bir başka önemli husus ise, taşıt dinamiği için geliştirilmiş olduklarından dolayı, genellikle modellerin yanal hareket açısının $\pm 20^\circ$ aralığı için düşünülmüş olmalarıdır. Ancak taşıt çarpışmalarında yanal hareket açısı herhangi bir değeri alabilir. Bunu daha iyi anlayabilmek için bir örnek verecek olursak, kazada, çarpışmayla taşıt yana doğru kayabilir, ki bu durumda yanal hareket açısı 90° dir. Eğer modelde yanal hareket açısına bağlı bir terim olup, bu değer için, sonucu sıfıra götürürse, bu uygulanabilir bir durum değildir. Bunun için tekerlek modeli seçiminde buna çok dikkat etmek gerekir.

Bunlardan başka, kaza simülasyonlarında kullanılan tekerlek modellerinde, önemi fazla olan parametrelerin kullanılması ve parametre sayısının az olması, verdiği sonuçların iyi olması, analitik olarak kolay kullanılıp fazla deney yapmayı gerektirmemesi aranan özelliklerdendir.

4. SONUÇ

Taşıt tasarımı ve dinamiği için geliştirilen çok sayıda model, yıllardır tekerlek üzerine yapılan çalışmaların ürünü olarak, tamamen teorikten, yine tamamen deneysel kadar kullanıcıya, çalışma alanına göre seçme şansı vermektedirler. Ancak kaza simülasyonu yönünden modeller incelendiğinde, özel bir alan olduğu için, tasarım amaçlı olarak geliştirilen modeller arasında daha hassas bir seçim gerekmektedir.

5.KAYNAKLAR

Pacejka H.B. 1987. "Lateral Dynamics of Road Vehicles" **Vehicle System Dynamics, 3rd Seminar on Advanced Vehicle System Dynamics on Roads and on Tracks**, p.75-120

Gim G., Nikravesh P.E. 1990. "An Analytical Model of Pneumatic Tyres for Vehicle Dynamic Simulations"; **J. of Vehicle Design**, v.11, n.6, p.589-618

Bernard J.E., Segel L., Wild R.E. 1977. "Tire Shear Force Generation During Combined Steering and Braking Maneuvers"; **SAE paper 770852**

Lippmann S.A. 1954. "Car Stability and Transient Tire Forces"; **SAE National Passenger Car Body & Materials Meeting**, Detroit, Mich., March 2-4

Erzi I. Çadde ve Ray Taşıtlarının Dinamiği Lisans Üstü Ders Notları, İTÜ

Segel L. 1965. "Force and Moment Response of Pneumatic Tires to Lateral Motion Inputs"; **Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME**, Paper No 65-Av-2

Fiala E. 1954. "Seitenkraefte am Rollenden Luftreifen"; **VDI-Zeitschrift** Bd.89, N.29, p.973- 979

Radt H.S., Milleken W.F. 1960. "Motions of Skidding Automobiles"; **SAE Summer Meeting**, Chicago, Ill., June 5-10

Radt H.S., Milleken W.F. 1983. "Non-Dimensionalizing Tyre Data for Vehicle Simulation"; **I.Mech.Eng.**, C133/83

Metcalf W.H. 1963. " Effect of a Time-Varying Load on Side Force Generated by a Tire Operating at Constant Slip Angle"; **SAE International Summer Meeting**, Motreal, Canada, June 10-14

Nothstine J.R., Beauvaris F.N. 1963. "Laboratory Determination of Tire Forces"; **SAE International Summer Meeting**, Montreal, Canada, June 10-14

Sakai H. 1971. "Theoretical Study of the Effect of Tractive and Braking Forces on Cornering Characteristics of Tire"; **Bulletin of JSAE**, p.64-74.

Sakai H. 1982. "Theoretical and Experimental Studies on the Dynamic Properties of Tyres"; **Int.J.of Vehicle Design**, v.2, n.1-2-3 (1981), v.3, n.3

Dugoff H., Fancher P.S., Segel L. 1970. "An Analysis of Tire Traction Properties and Their Influence on Vehicle Dynamic Performance"; **SAE Paper 700377**

Nakatsuka T., Takanami K. 1970. "Cornering Ability Analysis Based on Vehicle Dynamics System"; **SAE Paper 700368**

McHenry R.R. 1971. "Research in Automobile Dynamics - A computer Simulation of General Three Dimentional Motion"; **SAE Paper 710361**

Allen R.W., Rosenthal T.J., Szostak H.T. 1987. "Steady State and Transient Analysis of Ground Vehicle Handling"; **SAE Paper 870495**

Yamazaki S., Ogasawara S., Akasaka T. 1988. "Lateral Stiffness of Radial Tyres and Effect of Lowering Aspect Ratio"; **Int.J.of Vehicle Design**, v.9, n.3, p.318-333,

Gim G., Nikravesh P.E. 1991. "An Analytical Model of Pneumatic Tyres for Vehicle Dynamic Simulations"; **J. of Vehicle Design**, v.12, n.1, p.19-39

Gim G., Nikravesh P.E. 1991. "An Analytical Model of Pneumatic Tyres for Vehicle Dynamic Simulations"; **J. of Vehicle Design**, v.12, n.2, p.217-228

Kuralay N.S. 1988. "Motorlu Araç Lastik Kuvvetlerinin Teorik Yöntemle Hesaplanması"; **1. Balıkesir Müh.Semp.**, 26-27 Nisan 1988

Wooley R.L. 1985. "The IMPAC Computer Program for Accident Reconstruction"; **SAE Paper 850254**