

Hızlandırılmış taşıt ömür testlerinde yol verisi kullanımına yeni bir yaklaşım

Kubilay YAY* , İ. Murat EREKE

İTÜ Makina Fakültesi, Otomotiv Ana Bilim Dalı, 34437, Gümüşsuyu, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, çeşitli yol kalitelerine göre teorik olarak üretilen yol pürüzlülüğü sinyalleri taşıta transfer edildikten sonra, hidrolik sarsıcıdaki bir ticari taşıt şasisi üzerinden ölçülen genlik-kuvvet verileri kullanılarak gerilme verilerine dönüştürülmüştür. Gerilme verilerinin Rainflow sayma yöntemiyle çevrim sayıları tespit edildikten sonra Palmgren-Miner yöntemiyle hasar değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca bu hesaplamaları yapan bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bir taşıtın ömrü boyunca maruz kalacağı yol şartlarına göre Dizayn spektrumu yol pürüzlülüğü sinyalleri oluşturulmuş ve bu sinyallerin laboratuvar ortamında çalınması oldukça uzun zaman alacağından, Dizayn spektrumuna denk hasar etkilerini veren hızlandırılmış Test spektrumu sinyalleri elde edilerek deney süresi istenilen oranda ayarlanabilmiştir. Bu çalışma, taşıt geliştirme çalışmalarına ve ürün geliştirme hızının artmasına sağlayacağı katkı; arge maliyetlerinde sağlayacağı azalma göz önüne alındığında oldukça önemli bir çalışmadır.

Anahtar Kelimeler: *Yol pürüzlülüğü, dizayn spektrumu, test spektrumu, rainflow, hasar, hızlandırılmış ömür testi.*

A new approach for using road data in accelerated vehicle life tests

Abstract

In this study, after theoretical produced accelerated road roughness signals according to the various road qualities have been transferred to the vehicle, these data have been converted to the stress data using with amplitude-force data measured from a domestic chassis on the hydraulic shaker system in the laboratory. After the cycle number of these stress data has been established by the rainflow cycle counting, damage values have been calculated by Palmgren-Miner method. At the same time, accelerated life cycle computer program has been written. Theoretical road roughness signals of the design spectrum according to the road conditions on which a vehicle will be exposed during its life, have been constituted. It will be taken a long time running these signals in the laboratory without acceleration, so demand ratio of the experiment duration could be regulated by means of calculation of accelerated test spectrum signals at the equivalence damage effect for this design spectrum. It is thought that this study is quite important as it supplies aid for vehicle improvement in automotive industry; it leads not only increasing of product development speed, but also decreasing of the research and development costs. In addition to this, researchers can develop the written accelerated lifecycle test program for sorts of the fatigue applications.

Keywords: *Road roughness, design spectrum, test spectrum, rainflow, damage, accelerated life cycle test.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Kubilay YAY. yay@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 34 55.

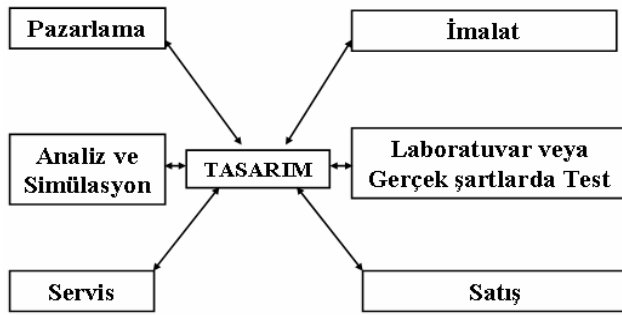
Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Makina Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Hızlandırılmış taşıt ömür testlerinde yol verisi kullanımına yeni bir yaklaşım" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 11.04.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 21.07.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 29.02.2004 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

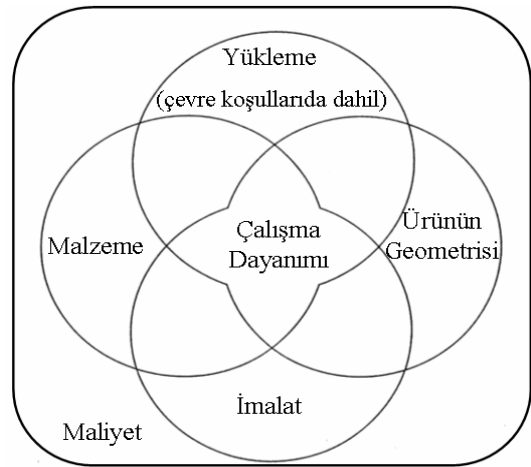
Bir taşıt tasarımının gerçekleştirilmesi bir çok etkene bağlı olmaktadır. Şekil 1.(a)'da tasarımın geliştirilebilmesi ve bunun sonucunda ürünün kullanıcıyı tatmin edebilmesi için, gerekli olan parametreler görülmektedir (Conle vd., 1997; Grubisic,1994; Marquis vd., 1999, Sonsino, 1997). Bu etkenler çerçevesinde ürün sürekli olarak bir değişime maruz kalmaktadır. Yapılan mühendislik analiz ve simülasyonlarının sonucunda elde edilen taşıt modelinin, gerek laboratuvar ortamındaki testlerde, gerekse gerçek çalışma koşullarındaki verileri hesap değerleriyle denk düştüğünde, imalata ve bunun sonrası ürünün pazarlanmasına geçilmektedir. Kullanıcı ile imalatçı arasındaki bilgi transferinin sağlandığı servis noktaları, ürünün farklı kullanıcılar için veri bankaları olduğundan, tasarımın geliştirilmesi açısından oldukça önemli bir nokta teşkil etmektedir. Burada bizi doğrudan ilgilendirecek konu, analiz, simülasyon ve test olmaktadır. Bu çalışmanın asıl amaçlarından biri de, giderek gelişmekte olan ve rekabetin arttığı otomotiv sanayinde, oldukça sıklıkla kullanılan analiz ve simülasyonun geliştirilerek, ürünün ortaya çıkmasında mühendislik uygulamalarına yardımcı olmaktır. Bu sebeple ortaya çıkarılacak ürünün çalışma dayanımının tespit edilmesi gerekmektedir. Şekil 1.b'de bir taşıtın veya parçanın çalışma dayanımının saptanabilmesi için gerekli olan dört ana parametre gösterilmiştir (Sonsino, 1997). Bunlar çevre koşullarının da dahil olduğu

yükleme durumu, ürünün geometrisi, malzemesi ve imalat özellikleridir. Uygun bir tasarımın gerçekleştirilebilmesi için de, çalışma sırasında karşılaşılan dış yüklerin, ürünün kritik bölümlerine etkiyen lokal gerilmelerin, malzemenin yorulma davranışıyla ilgili özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Bu şekilde, taşıt veya bir parça için gerekli olan "güvenirlilik" ve "emniyet" faktörleri saptanmış olacaktır. Dolayısıyla aşırı yüklenme gibi özel durumlarda ürünün minimum ömrünün saptanması bu açıdan önem kazanmaktadır. Ürün ömrünün belirlenmesi veya biçilen ömür içerisinde bütün fonksiyonlarını yerine getirmesi o üründen istenen temel özelliktir. Bu sebeple günümüz ürün geliştirme konseptinde, taşıt, gövde ve bileşenlerinin yorulma ve ömür kavramları ön plana çıkmış bulunmaktadır.

Taşıtların yorulmadan kaynaklanan ömürlerinin saptanması amacına yönelik çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerin en basiti, taşıtı belirlenen yol güzargahlarında öngörülen kilometre kadar yol katederek test etmektir. Taşıtın karayollarında test edilmesi basit olmasına nazaran oldukça zaman alıcı, pahalı ve tekrarlanabilirliği hemen hemen imkansız bir süreçtir (Şekil 2). Diğer bir test yöntemi, belirli yol kalitelerinden meydana gelmiş özel pistlerde taşıtın test edilmesidir. Bu şekilde zaman süreci belli ölçülerde azaltılmış olmakta, ancak bu yöntemde de gizlilik sorunu aşılammamaktadır (Şekil 3). Mevcut son yöntem gerçek yol verisi kullanmak suretiyle aracın



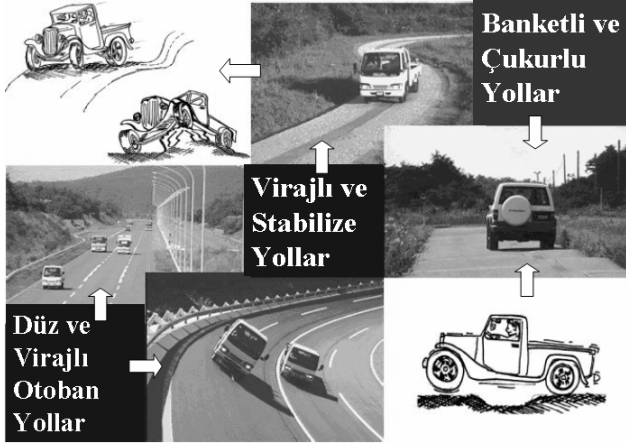
(a)



(b)

Şekil 1. Tasarımın bilgi transferi, (b) Çalışma durumunda etkiyen parametreler

Hızlandırılmış taşıt ömür testleri



Şekil 2. Taşıtın test amaçlı karayollarında kullanımı

laboratuvar ortamında test edilmesidir (Şekil 4). Günümüz otomotiv sanayinde gerçek yol verileri kullanılarak hızlandırılmış yorulma ömrü testleri ürün geliştirme aşamasında yaygın olarak uygulanmaya başlamıştır. Ancak gerçek yol verisinin elde edilmesi ve buna ait teknik özelliklerin belirlenmesi hayli karmaşık ve ölçüm hatalarını da içeren bir iştir. Yol kaplamalarının hem sayısal olarak ifade edilebilmesi ve belli standartlara göre tanımlanabilmesi hem de bazı bağıntılar yardımı ile ifade edilebilmesi (Mitschke, 1997), yol sinyalinin teorik olarak üretimini mümkün kılmaktadır.

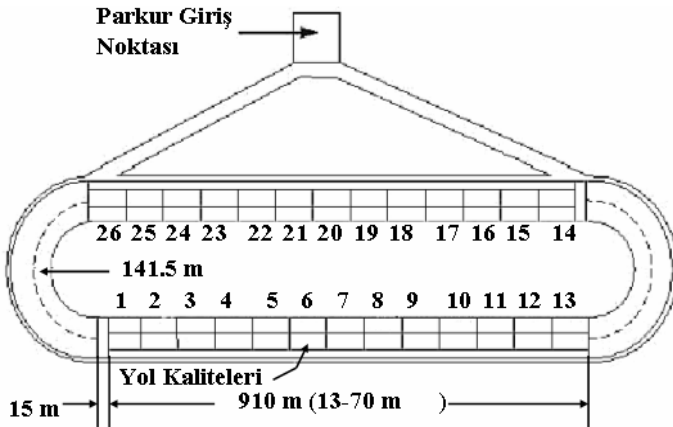
Bu çalışmada, gerçek yol sinyalleri yerine teorik olarak üretilen yol sinyallerinin hızlandırılmış ömür testinde kullanılma teknikleri geliştirilmeye çalışılmıştır.

Gerek bileşen bazında gerekse taşıtın şasisi veya karoseri düşünüldüğünde, her bir bileşenin

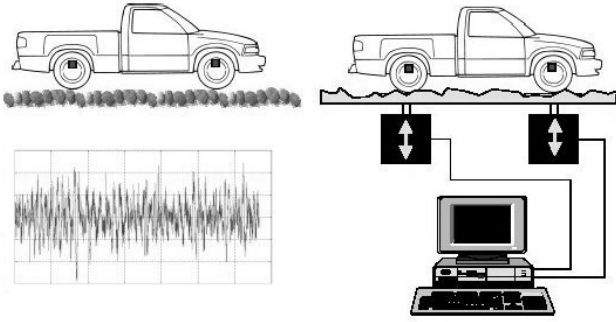
kendisine ait bir ömrü ortaya çıkmaktadır. Taşıt sistemi bir bütün olarak düşünüldüğünde asıl istenilen, ortak bir ömür belirlenmesidir. Fakat bir çok nedenden dolayı bu imkansızdır. Örneğin görevi titreşimleri sönmölemek suretiyle hem konfor hem de araç gövdesindeki deformasyonları azaltmak olan bir amortisör veya bağlı olduğu sistemlerin ömrü, doğal olarak, gövdeye nazaran daha az olacaktır. Bu nedenle yorulma ömrü diğer parçalara göre daha uzun olan taşıt gövdesinin ömrü baz alınmak suretiyle hesaplamalar yapılmaktadır.

Bu çalışmanın temelinde araç bir bütün olarak düşünülmekte ve istenilen ömür doğrultusunda hareket edilerek hesaplamalar yapılmaktadır. Örneğin bir binek otosu için 300,000 km bir yorulma ömrü otomotiv üreticileri için global hale gelmiş bir değerdir. Bu değer ticari vasıtalarda 1,000,000 km veya daha yüksek değerlere çıkabilmektedir. Bir taşıtın ömrünü belirleyebilmek için, o taşıttan beklenen özellikler önemli bir yer tutmaktadır. Bu taşıt bir arazi aracıysa, dağlık arazilerde ve düz yollarda gidecek şekilde dizayn edilmesi gerekecektir. Dolayısıyla ömür hesaplamasında araca gelen yüklerin bu şartlar düşünülerek hesap edilmesi gerekecektir.

Taşıtları zorlayan kuvvetler değişken genlikli dinamik kuvvetlerdir. Bu kuvvetler yol pürüzlülüğü, lastik düzgünsüzlüğü ve viraj gibi yol ve işletme şartlarına bağlı olarak ortaya çıkmaktadırlar (Ereke, 2002, Yay vd., 2001). Yol pürüzlülüğü veya düzgünsüzlüğü, parke, asfalt, stabilize gibi çeşitli yol kalitelerinden



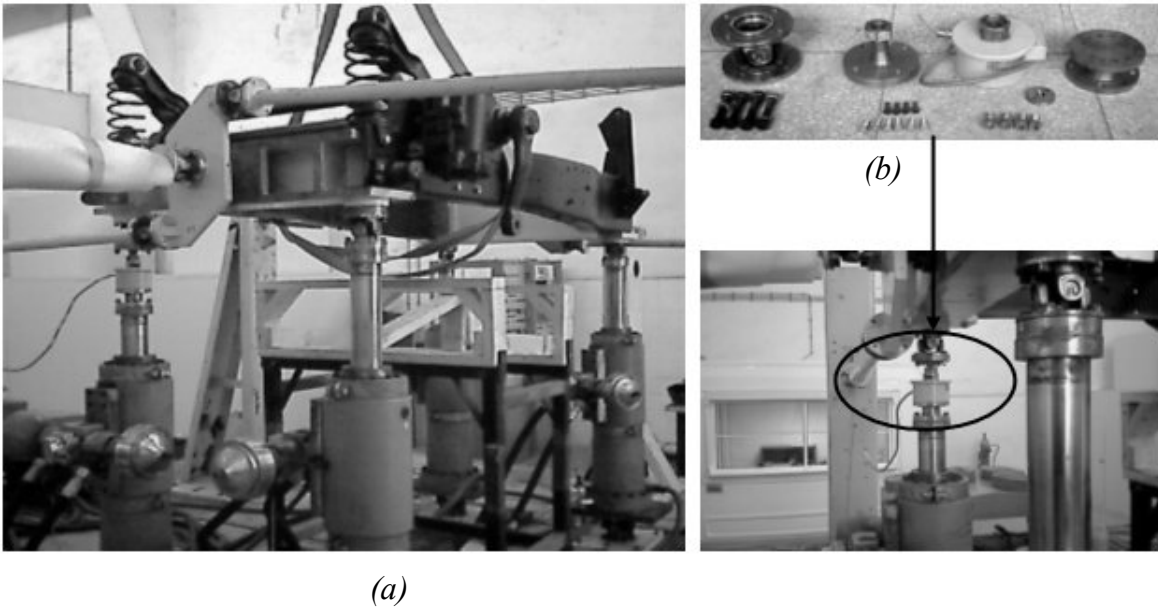
Şekil 3. Nevada Otomotiv Test merkezindeki hızlandırılmış test yolu parkuru



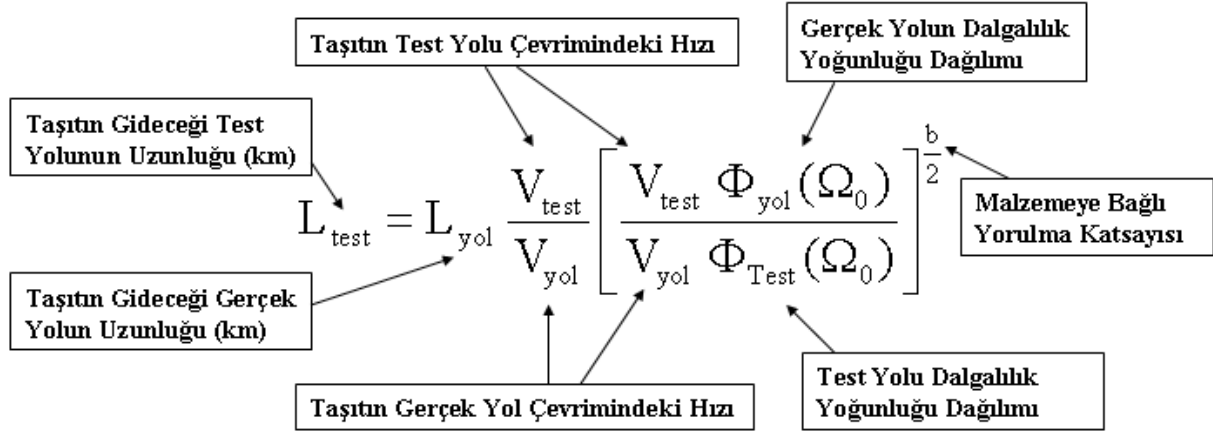
Şekil 4. Taşıtın laboratuvar ortamında test edilmesi

oluşmaktadır. Taşıtlar ömürleri boyunca, farklı şartlarda kullanılanlar da olmakla birlikte, istatistiki olarak ortalama %50 iyi, %25 orta ve %25 kötü yol şartlarına maruz kaldığı kabul edilebilir. Test maksadıyla üretime çıkmadan önce, ortalama 60 km/saat hızla 300,000 km ömür için, 24 saat sürekli olarak 7 ay süresince kullanılması gerekmektedir. Bu süre ağır vasıta bir taşıt için daha uzun olacaktır. Fakat böyle bir çalışmayı gerçek yol şartlarında bu kadar kısa sürede ve 24 saat sürekli olarak kullanarak yapmak imkansızdır. Nerden bakılırsa bakılsın bu süre 14 ay ve daha fazla sürecektir. Aynı testi yoldan alınan gerçek yol sinyallerinin laboratuvar ortamına taşınması ve burada 24 saat sürekli çalınması durumunda ancak 7 ay içerisinde bitirmek mümkündür. Fakat bu süre de rekabetçi piyasada oldukça uzun bir süre teşkil etmektedir. Bu amaçla aynı km'ye tekabül eden

ve daha kısa veya istenilen sürede araçta aynı yorulma deformasyonlarını oluşturacak, hızlandırılmış yol sinyallerinin üretilmesi veya yoldan alınan gerçek yol sinyallerinin modifiye edilmesi yoluna gidilmektedir. Amerika Birleşik Devletlerinin Nevada eyaletindeki otomotiv test merkezindeki gibi özel olarak tasarlanmış belli uzunluklardaki yol kaplamaları veya parkurlarında bu ömrün saptanması mümkün olabilmektedir. Şekil 3'te görülen hızlandırılmış gerçek test yolu 26 değişik yol kalitesinden oluşmaktadır (Epps vd., 1999). Fakat belli yol pürüzlülüğündeki genlikler sağlanabildiğinden, yukarıda belirtilen 7 aylık süre yaklaşık 2 aya düşürülebilmektedir. Bunun nedeni ise, yüksek genlikli yol pürüzlülük değerleri sonucunda taşıta gelen dinamik kuvvetler, taşıt ağırlığından kaynaklanan statik kuvvetten daha büyük olacağından, tekerleklerin zeminle teması kesilecektir. Bu durum da, tekerleklerle tahrik, fren ve yanal doğrultuda gerekli kuvvetlerin sağlanamamasına sebebiyet vereceğinden, seyir emniyetini ve konforunu etkileyecektir ve bu da o taşıtı kullanamamak demektir. Bu tip yollar genelde, araç üzerindeki yorulma ömrünün belirlenmesi istenilen parçaları test etmek amacıyla kullanılmaktadır. Taşıt toplam ömrü için yaklaşım ise, belli km'de farklı parkurlar için araç üzerinden alınan sinyallerin modifiye edilip laboratuvar ortamına taşınmasıdır.



Şekil 5. (a) Genlik-Kuvvet ölçümü için kullanılan yerli üretim şasi, (b) Kuvvet kaptörü



Şekil 6. Taşıtlarda hızlandırılmış test yolunun elde edilmesi

Bu çalışmanın asıl amacı da, taşıtın ömrü boyunca gideceği yol şartlarının belirlenmesi halinde, bu yol şartlarına göre teorik olarak yol pürüzlülüğü sinyallerinin elde edilmesi ve bu sinyallere eş değer yorulma etkisini veren hızlandırılmış yol sinyallerinin üretilmesidir. Sinyal üretilmesi sırasında ilk etapta kullanılan hızlandırılmış test yolu bağıntısı (Şekil 6), Nevada Otomotiv Test Merkezi'nde, S. Colin Ashmore, Allan G. Piersol, Joseph J. Witte tarafından geliştirilmiştir (Ashmore vd., 1992, Witte vd., 1993). Bu bağıntı yardımıyla Şekil 3'te yer alan hızlandırılmış yol pistinde, taşıtın kaç kilometre yol alması gerektiği hesap edilebilmektedir. Dolayısıyla çeşitli yol pürüzlülüklerinden meydana gelen bu pistte, taşıt, parkur pürüzlülüğüne göre hızlanıp yavaşlayarak bu bağıntı yardımıyla hesap edilen kilometreyi yapmaktadır. Bu çalışmada temel olarak bu bağıntıyla elde edilen hızlandırılmış yol mesafesine eşdeğer teorik yol pürüzlülüğü sinyalleri üretilmiştir.

Hızlandırılmış test yolu sinyallerinin üretilmesi için gerekli gerçek yol sinyalleri belli yol standartları baz alınmak suretiyle gerçekleştirilmektedir. Bu yol kalitelerinde taşıtta meydana gelen hasar, hızlandırılmış yol sinyallerine denk gelene kadar, test yolu yol pürüzlülüğü değerleri, taşıtın test yolu hızları ve katsayılar belirli mertebelerde değiştirilmektedir (Şekil 7). Bu çalışmada üretilen yol pürüzlülüğü sinyalleri, taşıta düşey yönde gelen dinamik kuvvetlerden oluşmaktadır. Bu sebeple sadece düşey yönde yol genlikleri oluşturulacak ve bu genlikler de aynı şekilde laboratuvar ortamında taşıta

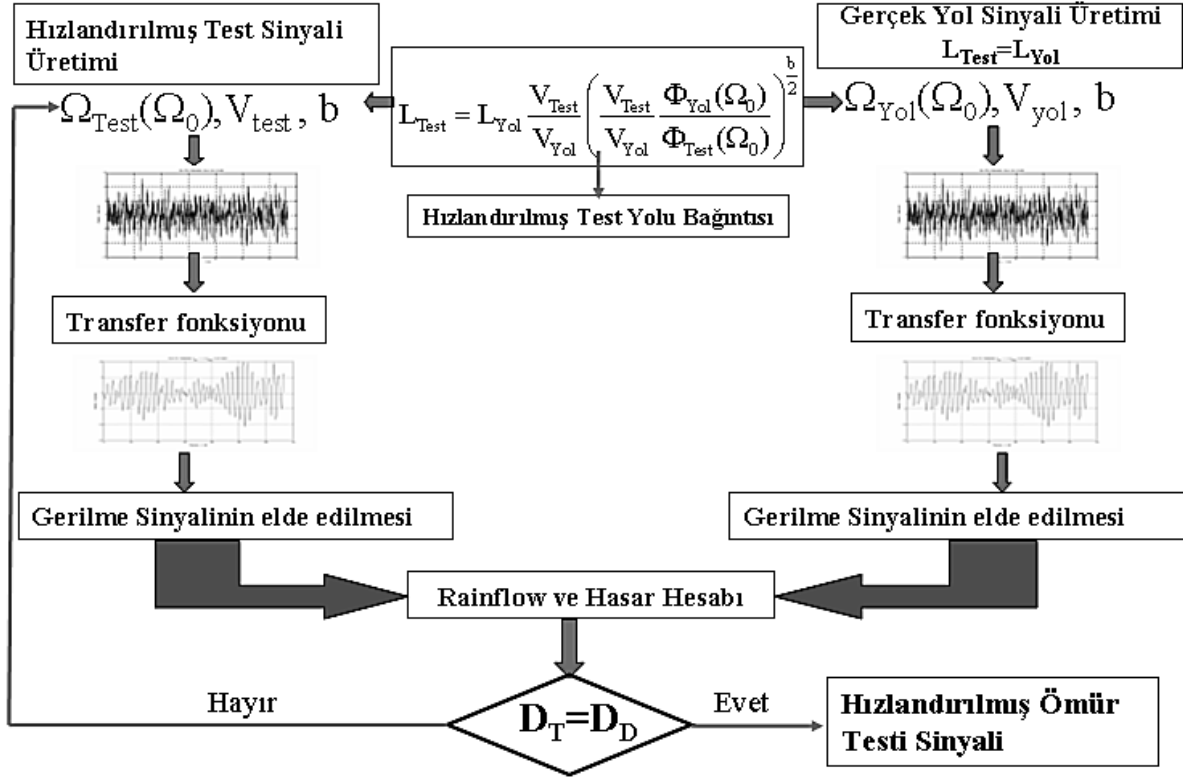
iletilecektir. Çalışmada kullanılan ve ölçümleri yapılan taşıt şasisi, Türkiye'de üretimi yapılan bir ağır vasıtaya aittir. Bu tip deneysel çalışmalarda genelde gerek ivme ve gerekse kuvvet ölçüm noktaları ana şasi üzerinden alındığı için, bu çalışmada da ana şasi üzerindeki yorulma etkisi baz alınmak suretiyle kuvvet değerleri ölçülmüştür. Şekil 5'te görülen resimde laboratuvarında hidrolik sarsıcının üzerindeki şasi ve kuvvet değerlerinin ölçüldüğü kuvvet kaptörü görülmektedir. Dolayısıyla ana şasi üzerinde üretilen gerçek yol sinyallerinin yorulma etkisi (D_D), bu sinyallere karşılık üretilen hızlandırılmış test yolu sinyallerinin yorulma etkisiyle (D_T) karşılaştırılmıştır (Grubisic, 1994, Sonsino, 1997, Yay vd., 2001).

Hasar analizinin boyutu bu çalışmanın kapsamı dışında tutulduğu ve sadece Dizayn ve Test spektrumlarının hasar değerlerinin denkliği araştırıldığı için gerilmenin teorik olarak hesaplanması yolu seçilmiştir.

Yol pürüzlülüğünden meydana gelen genlikler modele ait transfer fonksiyonu yardımıyla şasiye uygulanmıştır. Taşıt şasisinin bağlı olduğu yay, amortisör, tekerlek sisteminin sönümleme etkileri ve bağlı bulunduğu kütleler de hesaplamaya dahil edildiğinden, daha gerçekçi bir transfer işlemi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

Hızlandırılmış ömür testi bilgisayar programı

Gerek yukarıda bahsedilen teorik yol pürüzlülüğü sinyallerinin gerekse bu sinyallere karşılık gelen

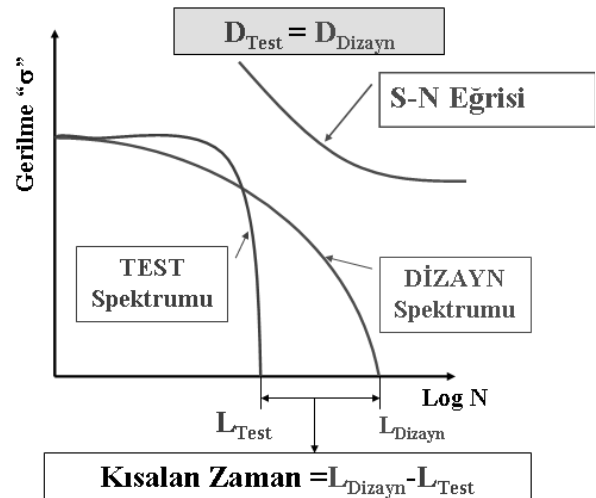


Şekil 7. Teorik olarak üretilen gerçek yol ve hızlandırılmış test yolu sinyalinin akış diyagramı

hızlandırılmış yol pürüzlülüğü sinyallerinin elde edilebilmesi amacıyla bir bilgisayar programı yazılmıştır. Daha önce belirtildiği gibi hızlandırılmış yol sinyalinin üretilmesi için gerekli bir takım gerçek yol ve test yolu verilerine ihtiyacımız vardır. Bu değerlerin değişken şekilde programa girilebilmesi amacıyla farklı editörler yaratılmıştır. Değişken bu veriler; taşıtın gitmesi gerekli olan hızlandırılmış test yolunun, L_{test} , hesap edilebilmesi için gerekli veriler; V_{yol} , taşıtın gerçek yoldaki hızı; w_{yol} , gerçek yol dalgalılık faktörü; Φ_{yol} , gerçek yol pürüzlülüğü spektrum yoğunluğu; L_{yol} , taşıtın gittiği gerçek yol değeri; B , malzemeye bağlı yorulma parametresi; V_{test} , taşıtın test yolundaki hızı, w_{test} , test yolu dalgalılık faktörü; Φ_{test} , test yolu pürüzlülüğü spektrum yoğunluğu; f_{mak} , maksimum frekans; f_{min} , minimum frekans; N_f , Fourier katsayısı; z , sinüs eğrisini oluşturacak nokta sayısı; L , taşıt aks aralığı; G , taşıt iz genişliği; Ω_p , koherans referans frekansı; u , uyum faktörü ve P , koherans fonksiyon katsayısı değerleridir.

Örnek bir hızlandırılmış test sinyali oluşturma

Şekil 8’de görüleceği üzere gerçek yoldan gelen yorulma etkisi “Dizayn Spektrumu” olarak ele alınırsa, aynı yorulma özelliğini verecek hızlandırılmış sinyaller de “Test Spektrumu”nda tanımlanacaktır (Grubisic, 1994, Sonsino, 1997,



Şekil 8. Dizayn ve test spektrumu

Yay vd., 2001). İstatistiki olarak taşıtların ömürleri boyunca çeşitli yol şartlarına maruz kaldığı daha önce belirtilmişti. Bu yaklaşım taşıt imalatı açısından genel bir yaklaşım olup, imalatçının veya tasarımcının o araçtan istediği özelliklere göre bu oranları değiştirmesi veya sınıflandırmayı çoğaltması mümkündür. Burada dikkat edilmesi gerekli olan dizayn spektrumunun hasar etkisinin test spektrumuna eşit olmasıdır (Şekil 7). Aksi takdirde istenilen hızlandırılmış test veya simülasyon modeli ile benzeşim sağlanmamış olacaktır. Şekilde de görüleceği üzere test spektrumu elde ederken yapılan işlem, yüksek gerilme değerlerinin yoğunluğunun artırılması veya başka bir deyişle, araca aynı hasar etkisini verecek daha yüksek gerilme genliği titreşimlerine maruz bırakmaktır. Bu şekilde testin süresi kısaltmakta ve aracın gerçek yol pürüzlülüğünden meydana gelen ömrüne eşdeğer bir ömür elde edilmektedir. Bu amaçla aşağıda verilecek örnekte, yazılan hızlandırılmış ömür testi programını kullanmak suretiyle bir test spektrumu yaratılacaktır.

Dizayn spektrumunun oluşturulması

Test spektrumunun oluşturulabilmesi için ilk önce testin normal işletme koşullarını tanımlayarak dizayn spektrumunun oluşturulması gereklidir. Yukarıda bahsedildiği gibi aracın Dizayn spektrumu verilerinin Tablo 1'deki gibi olduğunu kabul edelim. Burada görüleceği üzere seçilen araç hızları (V_{yol}), yol pürüzlülüğü spektrum yoğunlukları ($\Phi_h(\Omega_0)$) ve kat edilecek mesafeler (L_{yol}) aracın maruz kalacağı düşünülen yol şartlarından oluşmaktadır. Dizayn spektrumu bu tablodan da anlaşılacağı üzere, aracın belli oranlardaki iyi, orta ve kötü yol kalitelerinde maruz kalacağı düzensiz yol titreşimleri sonucunda oluşacak yorulmanın etkisinin saptanmasından meydana gelmektedir. Bu amaçla, Hızlandırılmış

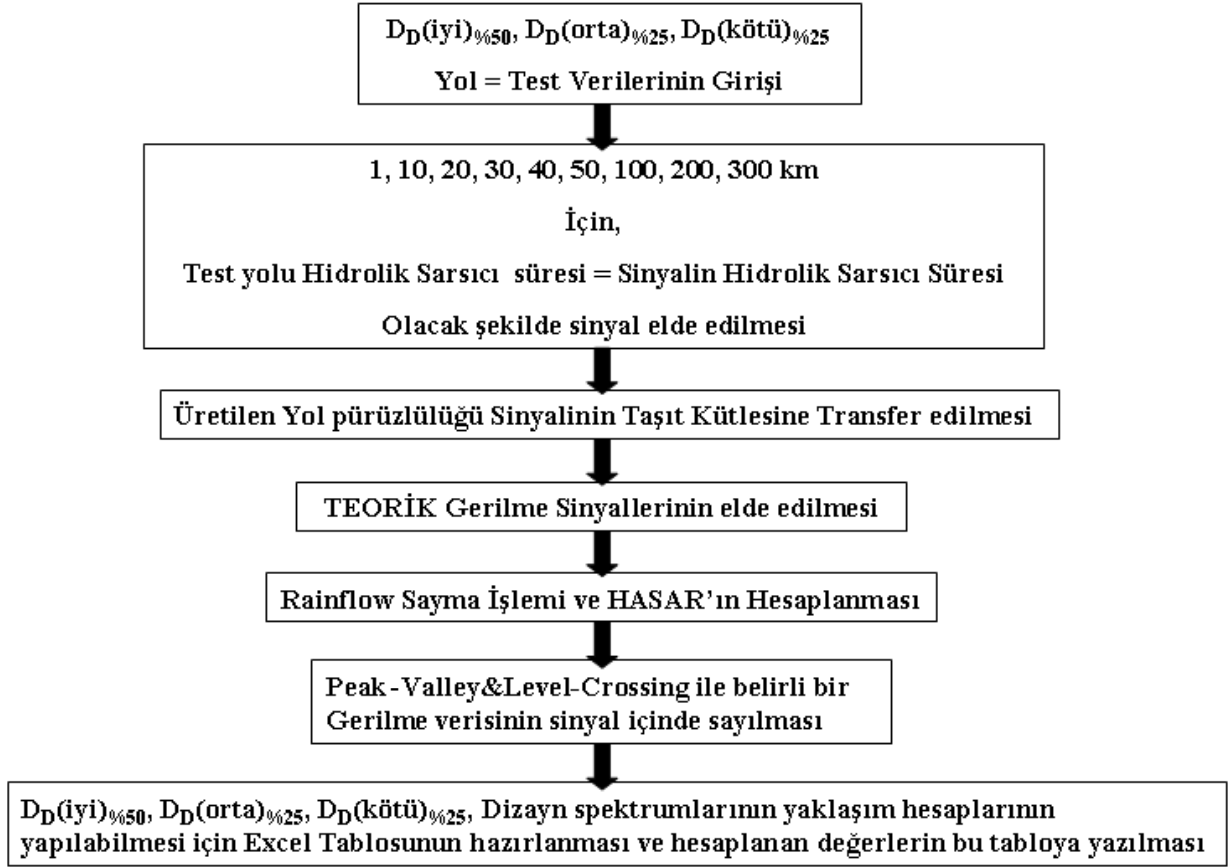
Tablo 1. Dizayn spektrumunu oluşturan veriler

Dizayn Spektrumu	Yol Kalitesi (ISO 8608)	V_{yol} (km/Saat)	$\Phi_h(\Omega_0)$ ($w=2$) (cm^3)	L_{yol} (km)
D _{%50}	İyi	75	2	150,000
D _{%25}	Orta	50	8	75,000
D _{%25}	Kötü	35	32	75,000

ömür testi programında, her yol kalitesindeki dizayn spektrumunun yorulma etkilerinin hesaplanması gerekmektedir. YOL ve TEST verilerinin eşit şekilde programa girilmesi halinde, dizayn spektrumunu oluşturacak yol pürüzlülüğü sinyalleri elde edilmiş olacaktır. Şekil 9'da Dizayn spektrumunda hasar hesap edilirken izlenecek hesap algoritması görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere belli kilometre değerlerinde oluşan hasarları hesaplanması suretiyle toplam 300,000 km ömre karşılık gelen hasar iki farklı yaklaşım kullanılmak suretiyle hesap edilmiştir. Bunun sebebi, sinyal verisi çok fazla miktarda olacağından bilgisayar performansına göre işlem süresinin ve hammaliyetinin de aynı ölçüde artacağıdır. Bu sebeple geliştirilen katsayı hesaplama ve eğri uydurma yöntemine göre hasarlar belli bir yaklaşıma göre hesap edilmiştir. Katsayı yaklaşımında, bu kilometreler için bulunan hasarlara göre hesap edilen bir katsayı kullanılarak, toplam kilometreye karşılık gelen D_D değeri hesaplanmaktadır. Eğri uydurma yaklaşımda ise excel veya benzeri programlar yardımıyla hesap edilen yollara karşılık gelen hasarların eğri denklemi bulunmak suretiyle toplam 300,000 km'ye karşılık gelen D_D değeri hesap edilebilmektedir. Bu her iki yaklaşım sonuçlarının da verildiği toplam Dizayn spektrumu sonuçları Tablo 2 'de görülmektedir.

Test spektrumunun oluşturulması

Test spektrumunun oluşturulma algoritması dizayn spektrumuna benzer şekildedir. Dizayn spektrumunda üç yol kalitesinde her bir km'ye karşılık gelen hasar değerlerinin, test spektrumunda bulunan değerlere eşit olması gerekmektedir. Bir başka deyişle $D_D(iyi)_{%50} = D_T(iyi)_{%50}$, $D_D(orta)_{%25} = D_T(orta)_{%25}$, $D_D(kötü)_{%25} = D_T(kötü)_{%25}$ olmalıdır. Bu sebeple Şekil 10'daki işlem prosedürü ile Test spektrumu hasar değerleri Dizayn Spektrumu hasarlarına yaklaşık olarak eşitlenmeye çalışılmaktadır. Bu amaçla da Test spektrumunun hesaplanması sırasında, Dizayn spektrumu hasar eşitliğini elde etmek amacıyla, artırılması gereken duruma doğru orantılı olarak genlik değerlerin artırılması veya azaltılması gereken durumlar da ise genlik değerlerinin azaltılması gereklidir. Bu sebeple araç test



Şekil 9. $D_D(iyi)_{\%50}$, $D_D(orta)_{\%25}$, $D_D(kötü)_{\%25}$ için izlenecek hesaplama yöntemi

hızı (V_{test}) ve test yolu yol pürüzlülüğü spektrum yoğunluğu (Φ_{test}) değerlerinin artırılması gerekmektedir. Test spektrumu verileri hesap edilirken hızlandırma oranı “30” alınarak hesaplama yapılacaktır. Tablo 3’te toplam Test spektrumu sonuçları görülmektedir. Şekil 11.a’da yer alan grafik gerçek bir yol pürüzlülüğünden oluşan gerilme sinyali, Şekil 11.b’deki ise hızlandırılmış bir yol sinyali olsun. Şekil 11.b’de, hızlandırılmış sinyaldeki malzemenin sürekli mukavemet sınırına yakın bir gerilme değerinin

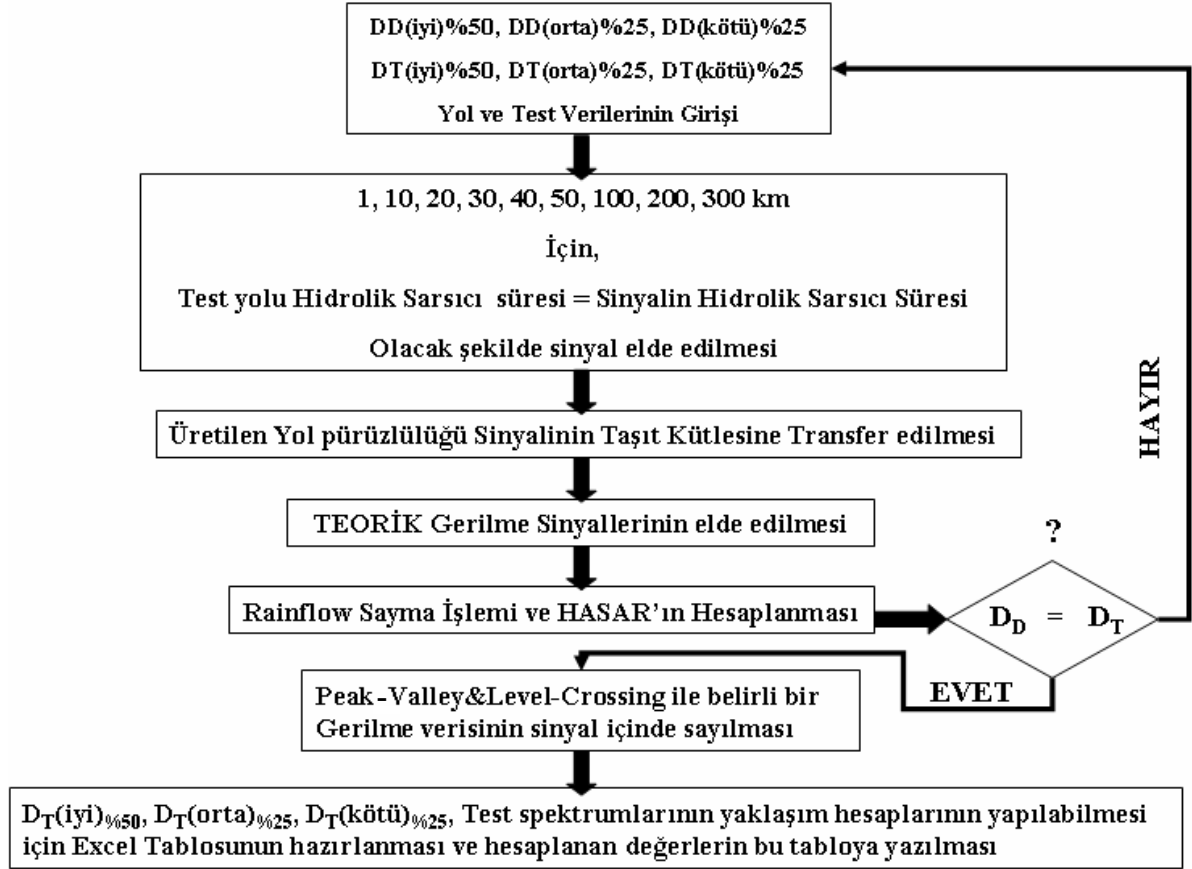
sinyal içerisindeki miktarı, Şekil 11.a’daki gerçek yol pürüzlülüğündekinden daha fazladır. Başka bir deyişle malzeme bu gerilme seviyesine daha fazla miktarda maruz kalmaktadır. Dolayısıyla yorulma hızı artmaktadır.

Hidrolik sarsıcıda çalınacak toplam test sinyallerinin oluşturulması

Taşıtın toplam 300,000 km’ye karşılık gelen Dizayn ve Hızlandırılmış Test spektrumu hasar değerleri, süreleri Tablo 4’te görülmektedir.

Tablo 2. $D_D(iyi)_{\%50}$, $D_D(orta)_{\%25}$ ve $D_D(kötü)_{\%25}$ toplam dizayn spektrumu sonuçları

	DİZAYN SPEKTRUMU			TOPLAM
	$D_D(iyi)_{\%50}$	$D_D(orta)_{\%25}$	$D_D(kötü)_{\%25}$	$D_D(iyi)_{\%50} + D_D(orta)_{\%25} + D_D(kötü)_{\%25}$
Katedilen Yol(km)	150,000	75,000	75,000	300,000
Sinyal Veri sayısı	230,400,000	172,800,000	246,900,000	650,100,000
Süre (Gün)	83.3	62.5	89.3	235
HASAR(Katsayı Yaklaşımı)	0.2588	1.3026	6.1428	7.7041
HASAR(Eğri Uydurma)	0.2516	1.2926	5.9341	7.4782



Şekil 10. $D_T(iyi)_{\%50}$, $D_T(orta)_{\%25}$, $D_T(kötü)_{\%25}$ için izlenecek hesaplama

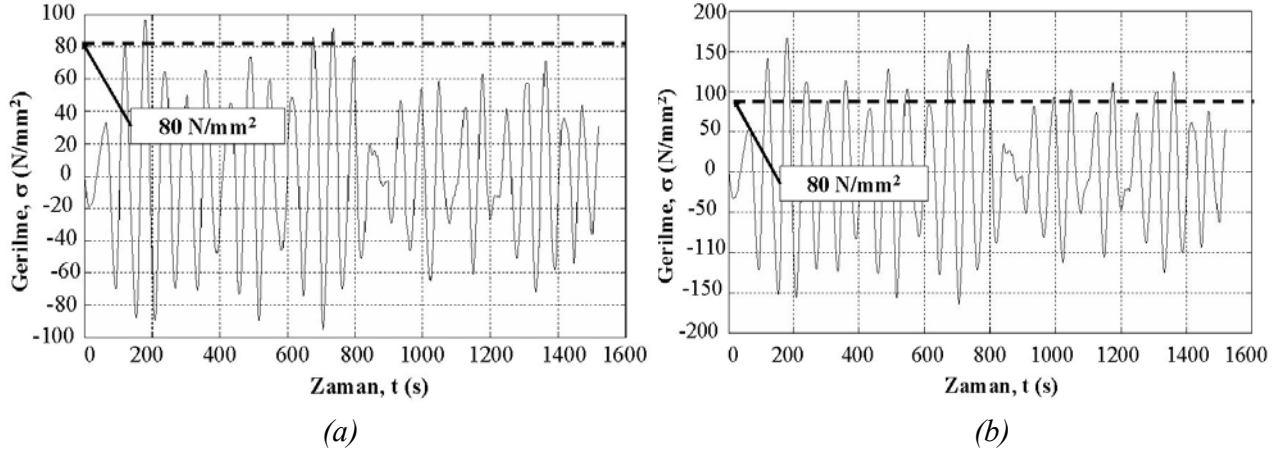
Toplam test spektrumu sinyalinin hidrolik sarsıcıda çalınacak şekilde elde edilebilmesi için, her bir test spektrumunun belli bir kilometresinde, örneğin 50 km'sinde meydana getirilen ve taşıta transfer edilen yol pürüzlülüğü sinyallerinin, istediğimiz zaman boyutunda çalınması gerekmektedir. Tablo 5'te yukarıda üretilen $D_T(iyi)_{\%50}$, $D_T(orta)_{\%25}$ ve $D_T(kötü)_{\%25}$ test spektrumlarının, 50 km'de elde edilen yol pürüzlülüğü sinyalleri için 300,000 km ömre karşılık gelen hidrolik sarsıcıdaki çalınma sayıları görülmektedir. Bu tabloda görülen test spektrumu sinyal çevrim sayılarını azaltmak için kilometre değerini

yükselterek çevrim süresini uzatmak mümkündür. Örneğin 200 km'lik sinyal için çevrim süresi 4 kat uzayacağından, çevrim sayıları da 4 kat azalacaktır. Tablo 6'da 200 km'lik test spektrum sinyallerine karşılık gelen çevrim sayıları görülmektedir. Farklı test spektrumları için farklı kilometreler seçilip kullanılabilir. Çevrimler belli periyodik aralıklarla çalınabilir veya karışık şekilde çalınması mümkün olabilmektedir.

Dizayn ve hızlandırılmış test spektrumu yol pürüzlülüğü genlik değerlerinin maksimum ve minimum olarak karşılaştırması amacıyla, örnek

Tablo 3. $D_T(iyi)_{\%50}$, $D_T(orta)_{\%25}$ ve $D_T(kötü)_{\%25}$ toplam test spektrumu sonuçları

	TEST SPEKTRUMU			TOPLAM
	$D_T(iyi)_{\%50}$	$D_T(orta)_{\%25}$	$D_T(kötü)_{\%25}$	$D_T(iyi)_{\%50} + D_T(orta)_{\%25} + D_T(kötü)_{\%25}$
Katedilen Yol(km)	150,000	75,000	75,000	300,000
Sinyal Veri sayısı	4,560,000	4,680,000	9,780,000	19,020,000
Süre (Gün)	1.7	1.7	3.6	7
HASAR(Katsayı Yaklaşımı)	0.2580	1.2931	6.1562	7.7073
HASAR(Eğri Uydurma)	0.2505	1.2779	5.9613	7.4897



Şekil 11. (a) Gerçek yol pürüzlülüğü σ -zaman sinyali, (b) Hızlandırılmış yol pürüzlülüğü σ -zaman sinyali

Tablo 4. Taşıtın toplam 300,000 km 'ye karşılık gelen Dizayn ve Hızlandırılmış Test Spektrumu Hasar değerleri

	TOPLAM DİZAYN SPEKTRUMU (D_D)		TOPLAM TEST SPEKTRUMU (D_T)	
	$D_D(\text{iyi})_{\%50} + D_D(\text{orta})_{\%25} + D_D(\text{kötü})_{\%25}$		$D_T(\text{iyi})_{\%50} + D_T(\text{orta})_{\%25} + D_T(\text{kötü})_{\%25}$	
	HASAR	SÜRE(Gün)	HASAR	SÜRE(Gün)
Katsayı Yaklaşımı	7.704	235	7.707	7
Eğri Uydurma	7.478	235	7.489	7

Tablo 5. 50 km 'deki Test Spektrum sinyallerine göre, 300,000 km ömür için hidrolik sarsıcıdaki çalınma sayıları

$D_T(\text{iyi})_{\%50}$		$D_T(\text{orta})_{\%25}$		$D_T(\text{kötü})_{\%25}$		Toplam = $D_T(\text{iyi})_{\%50} + D_T(\text{orta})_{\%25} + D_T(\text{kötü})_{\%25}$			
Çevrim Sayısı	Süre(s)	Çevrim Sayısı	Süre(s)	Çevrim Sayısı	Süre(s)	TOPLAM Çevrim Sayısı	TOPLAM Süre(s)	TOPLAM Süre(saatt)	TOPLAM Süre(gün)
1	52	1	103	1	196				
2885	150000	1456	150000	1569	307500	5910	607500	168.75	7

Tablo 6. 200 km 'deki Test Spektrum sinyallerine göre, 300,000 km ömür için hidrolik sarsıcıdaki çalınma sayıları

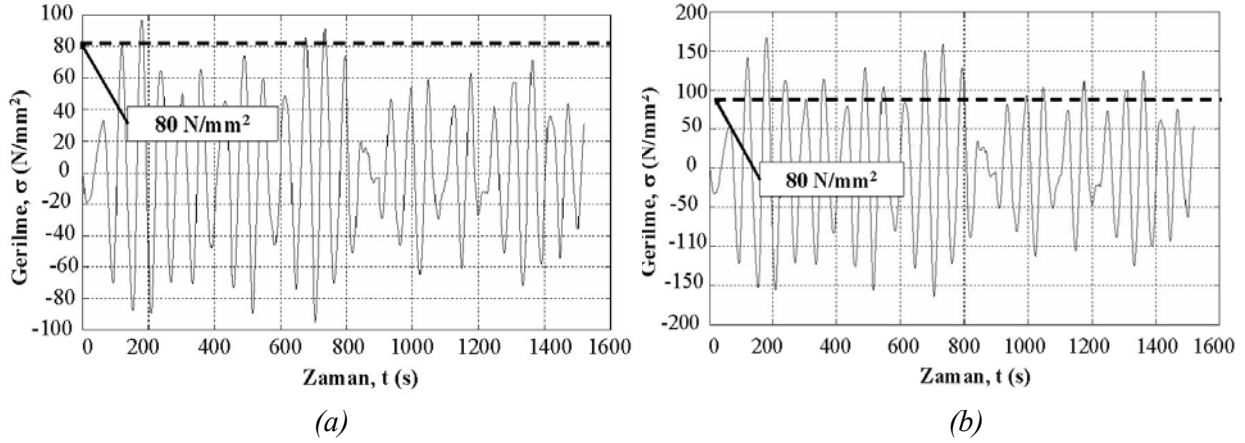
$D_T(\text{iyi})_{\%50}$		$D_T(\text{orta})_{\%25}$		$D_T(\text{kötü})_{\%25}$		Toplam = $D_T(\text{iyi})_{\%50} + D_T(\text{orta})_{\%25} + D_T(\text{kötü})_{\%25}$			
Çevrim Sayısı	Süre(s)	Çevrim Sayısı	Süre(s)	Çevrim Sayısı	Süre(s)	TOPLAM Çevrim Sayısı	TOPLAM Süre(s)	TOPLAM Süre(saatt)	TOPLAM Süre(gün)
1	202	1	400	1	805				
743	150000	375	150000	382	307500	1500	607500	169	7

olarak 50 km sinyal değeri için elde edilen sonuçlar Tablo 7'de sunulmuştur. Bu değerler ön sol tekerleğe aittir. Bu örnek yol sinyalinde, dizayn ve test spektrumu yol pürüzlülüğü

maksimum ve minimum genlik değerleri, her kilometre için yaklaşık olarak aynı mertebelerde kalmaktadır.

Tablo 7. 50 km'deki yol pürüzlülüğü genliklerinin dizayn ve test spektrum sonuçları

	DİZAYN SPEKTRUMU			TEST SPEKTRUMU		
	$D_D(\text{iyi})_{\%50}$	$D_D(\text{orta})_{\%25}$	$D_D(\text{kötü})_{\%25}$	$D_T(\text{iyi})_{\%50}$	$D_T(\text{orta})_{\%25}$	$D_T(\text{kötü})_{\%25}$
VERİ	76800	115200	164568	1656	3288	6280
Maksimum(mm)	14.22	26.5	42.6	32.13	39.5	54.31
Minumum(mm)	-14.32	-25.17	-37.38	-30.76	-40.28	-47.82



Şekil 11. (a) Gerçek Yol pürüzlülüğü σ -Zaman sinyali, (b) Hızlandırılmış yol pürüzlülüğü

σ -Zaman sinyali

Sonuçlar ve tartışma

Giriş bölümünde belirtildiği üzere bu çalışmada, ilk etapta otomotiv sektörünün araştırma geliştirme çalışmalarını hızlandırmak ve daha düşük maliyetlerle istenilen sonuçlara ulaşmak amaçlanmıştır. Bu sebeple böyle bir çalışma taşıt geliştirme projelerine destek verecektir.

Hızlandırılmış ömür testine tabi tutulan araçlarda görülen aksaklıklar; yaylar, amortisörler, profiller, karoser, motor takozları, bağlantı elemanları, kaynak dikişleri ve araç üzerinde bulunan bir çok parçanın titreşim deformasyonuna karşı analizi kısa sürede yapılmak suretiyle, önleminin hemen alınması sonucunda aracın kısa sürede geliştirilip piyasaya çıkması açısından oldukça önemli olmaktadır.

Nevada Otomotiv test merkezinde geliştirilen hızlandırılmış test yolu bağıntısı kullanılarak hızlandırılmış test yolu mesafesi hesaplanmış ve bundan sonra bu yola karşılık gelen eşdeğer teorik yol pürüzlülüğü sinyalleri geliştirilen hızlandırılmış ömür testi programıyla elde

edilmiş ve birtakım ara işlemlerden sonra hasar değeri hesaplanmıştır. Bu bağıntıdan hesaplanan yol mesafesine göre, teorik olarak hesaplanan yol pürüzlülüğü sinyalleri ve bunların hasar değerlerinin bulunması bu çalışmanın getirdiği yeni bir yaklaşım olmaktadır. Böylelikle, üretilen Dizayn spektrumu veya gerçek yol sinyallerinin hasar etkisine denk, arzu edilen hızlandırma oranında test spektrumu sinyalleri elde edilmiş olmaktadır.

Literatürde, genel yorulma hesaplama yöntemi kullanılarak yapılan testler mevcuttur. Fakat yapılan bu testlerde hesaplama adımları ayrı ayrı ele alındığı için işlemler daha karmaşık hale gelebilmektedir. Bilgisayar programıyla desteklenen böyle bir akademik çalışma ilk kez yapılmıştır. Başka bir deyişle dizayn spektrumu olarak ifade edilen teorik yol pürüzlülüğü sinyallerinin yol standartları kullanılarak yazılan hızlandırılmış ömür testi programıyla elde edilmesi ve bu sinyallere karşılık gelen hızlandırılmış test için gerekli test spektrumlarının oluşturulması, dolayısıyla geliştirilmiş olan bu

algoritma, bu çalışmanın laboratuvar ortamında taşıt ömür testlerine getirdiği yeni bir boyuttur.

Hızlandırılmış ömür testi programında, programın geliştirilmesi ve bir çok parametre değiştirilmek suretiyle farklı yaklaşımlar sergilenmesi ve bunun neticesinde değişik çalışma konuları oluşturulması açısından, veri giriş parametreleri değişken tutulmuştur.

Geliştirilen katsayı hesaplama ve eğri uydurma yaklaşımları ile bulunan değerlerin yaklaşık olarak birbirlerine denk olduğu görülmüştür. Bu sebeple bu yaklaşımlardan herhangi birisinin bu tür hesaplamalarda kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Tablo 4'te görülen Dizayn ve Test spektrumu toplu sonuçlardan anlaşılacağı üzere Dizayn ve Test spektrumunu oluşturan iyi, orta ve kötü yol koşullarının yorulma etkilerinin denklığı sağlanmak suretiyle öngörülen hızlandırma oranında test süresi kısaltılmıştır. Tablo 5 ve Tablo 6'daki sonuçlar taşıtın laboratuvar ortamına uygulanacak sinyal değerlerinin öngörülen çevrim sayılarına göre ayarlanabildiğini göstermektedir. Tablo 7'de yer alan değerler Dizayn veya Test spektrumunun iyi, orta ve kötü yollardaki maksimum minimum genliklerini göstermekte olup, Test spektrumu genlik değerlerinin artışı görülebilmektedir.

Üretilen hızlandırılmış test spektrumu yol sinyalleri, dizayn spektrumuna karşılık gelen hasar eşitlikleri sağlanmak suretiyle oluşturulmuştur. Buradaki hasar değerinin büyüklüğü sadece bu iki spektrumun denklığını sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Dolayısıyla, gerek yorulmanın karşılaştırılmasının yapıldığı şasinin, gerekse taşıt üzerinde bulunan parçaların hasar görüp görmeyeceğini göstermemektedir. Hasarın saptanması ancak üretilen sinyallerin deneysel ortamda bir taşıt üzerinde denenmesiyle gerçekleştirilebilmektedir. Bu amaçla, İTÜ Makina Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı'na ait Motorlar ve Taşıtlar Laboratuvarları'nda, gerçekleştirilmiş, Türkiye'de üretilen bir ağır vasıta taşıtı için yapılan hızlandırılmış ömür deneyinde, çeşitli yollarda kayıt edilen sinyallerin hızlandırılmasıyla elde edilen test spektrumu sinyallerinin genlik değerleri incelenmiş ve bu

değerlerin yazılan bilgisayar programıyla elde edilen genlik değerlerine yaklaşık veriler olduğu görülmüştür. Gizlilik gereği bu sinyaller ile ilgili herhangi bir veri bu çalışmada verilememiştir. Dolayısıyla, hızlandırılmış ömür testi programı kullanılmak suretiyle, belli kalitedeki yol standartlarından faydalanarak elde edilen dizayn spektrumu sinyallerine karşılık gelen hızlandırılmış test spektrumu sinyallerinin, bir taşıtın ömür testlerinde kullanılabileceğinin bir göstergesi olmaktadır.

Bu çalışmada sol ön tekerlek izi baz alınmak suretiyle yol pürüzlülüğü titreşimleri üretilmiş, ve koherans fonksiyonu yardımıyla sağ tekerleğe ait değerler de elde edilmiştir. Fakat dizayn ve test spektrumları üretilirken taşıt verisi olarak gözüken bu değerler sabit alınmıştır. Koherans fonksiyonu parametreleri değiştirilmek suretiyle, sinyal ve hasar değişimlerinin incelenmesi bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

Yol pürüzlülüğü genliklerinin taşıta transfer edilmesi sırasında, taşıt ve tekerleğin kütleleri, yay ve amortisör sönümlenme katsayıları ve bu değerlerin değişimlerinin sinyal, genlik, gerilme ve hasar değerlerini nasıl etkileyeceğinin incelenmesi, farklı bir araştırma konusunu teşkil etmektedir.

Hızlandırılmış ömür testi programında, dizayn ve test spektrumlarının denklığını bulmak amacıyla elde edilen hasar değerleri, deneysel yapılacak çalışmalar sonucunda taşıtta hasar oluşum mertebelerinin belirlenmesi ve bu değerlerin karşılaştırılması açısından oldukça faydalı olacaktır.

Hızlandırılmış ömür testi programı, yorulma konusu üzerine çalışacak diğer araştırmacılara ışık tutması açısından geliştirilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Örneğin bir taşıt aks sistemindeki yorulma veya farklı bir taşıt parçasının yorulmasının direkt olarak incelenmesi amacıyla, programın teorik gerilme modülüne ait yazılımın, deneyi yapılacak sisteme göre değiştirilmesiyle teorik gerilme hesaplarını yapmak mümkün olmaktadır.

Bu çalışma sırasında, yol ve test verisi değerlerinin bazıları sabit tutulmak suretiyle sinyaller üretilmeye çalışılmıştır. Bu parametrelerin kendi aralarındaki değişimlerinin sinyallere nasıl yansıdığı ve dolayısıyla hasar değerinin bu değişimlerden nasıl etkilendiğinin araştırılması bu aşamada çalışma konusu dışında tutulmuştur.

Kaynaklar

- Ashmore, S. C., Piersol, A. G., Witte, J. J., (1992). Accelerated Service Life Testing of Automotive Vehicles on a Test Course, Swets & Zeitlinger, *Vehicle system Dynamics*, **21**, 2, 89-108.
- Conle, A., Grenier, G., Johnson, H, Kemp, S., (1997). *SAE Fatigue Design Handbook*, AE-22, Society of Automotive Engineers, Inc., 457 sf., Warrendale.
- Epps, J. A., Leahy, R. B., Mitchell, T., Ashmore, S. C., (1999). Westrack- The Road to Performance-Related Specifications, *International Conference on Accelerated Pavement Testing*, October 18-20, NV, Reno.
- Ereke, İ. M., (2002). Taşıt Ömür Testlerinde Yol Datası Kullanımı, *Otomotiv Teknolojileri Kongresi, OTEKON 2002*, 24-26 Haziran, Bursa.
- Grubisic, V., (1994). Determination of Load Spectra for Design and Testing, *International Journal of Vehicle Design*, **15**, ½, 8-26.
- Marquis, G., Solin, J., (1999). *Fatigue Design and Reliability*, ESIS Publication 23, Elsevier Science, Amsterdam.
- Mitschke, M., (1997). *Dynamik der Kraftfahrzeuge Band B: Schwingungen*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. 315sf.
- Sonsino, C. M., (1997). *Fatigue Design & Testing*, April 29-30, İstanbul.
- Yay, K., Ereke, İ. M., 2001. Fatigue Strength of a Rim Model with FEM Using a New Approximation Technique, *Automotive and Transportation Technology Congress and Exhibition*, SAE, October 1-4, Barcelona.
- Witte, J. J., Ashmore, S. C., Piersol, A. G., (1993). Accelerated Service Life Testing Conducted with an Automotive Vehicle on a Test Course, *Institute of Environmental Sciences Proceedings*, **11**, 2, 134-146.