

TAŞIT TİTREŞİMLERİNİN TEORİK ANALİZİ VE BİR BİLGİSAYAR MODELLEMESİ

Ümit ER¹, Sezan ORAK², Bilal PAR³

ÖZET: Bu çalışmada, taşıtta meydana gelen titreşimler teorik olarak incelenmiş ve özellikle yoldan gelen uyarılara karşı taşıtın gösterdiği tepkiler esas alınmıştır. Taşıt titreşimlerinin teorik analizinden sonra bilgisayar modellemesi yapılmıştır. Burada yerli üretim bir kamyon ele alınmış, kamyonun yüksüz olduğu düşünülmüş ve taşıt hızının engeli geçerken her noktada sabit kaldığı kabul edilmiştir. Üç ayrı yol profilindeki sürücü koltuğu yer değişimi miktarları hesaplanmış ve iletkenlik eğrisi çizilmiştir. İletkenlik eğrisinden doğal frekans saptanmış, bu taşıt için sürücü koltuğunun sönüm oranı hesaplanmış ve öneriler getirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Titreşimler, taşıt titreşimleri.

THEORETICAL ANALYSIS OF VEHICLE VIBRATIONS AND A COMPUTER MODELLING

ABSTRACT: The main object in this study was to investigate the vibrations observed from resistance of the vehicle, especially due to a rough surface. The performed work is a theoretical analysis and idealized computer stimulation of the physical event. In this study, native production truck has been used as an example which is assumed to be loadless and at a constant speed passing over an impediment. Displacement of the driver seat has been calculated for three different types of road impediments and the vibration conductivity curve drawn. Hence natural frequency has been obtained and then driver seat damping rate has been calculated for this vehicle and suggestions for the improvement have been also made.

KEYWORDS: Vibration, vehicle vibration.

^{1, 2, 3} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Makina Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik Kampüsü, 26480 ESKİŞEHİR

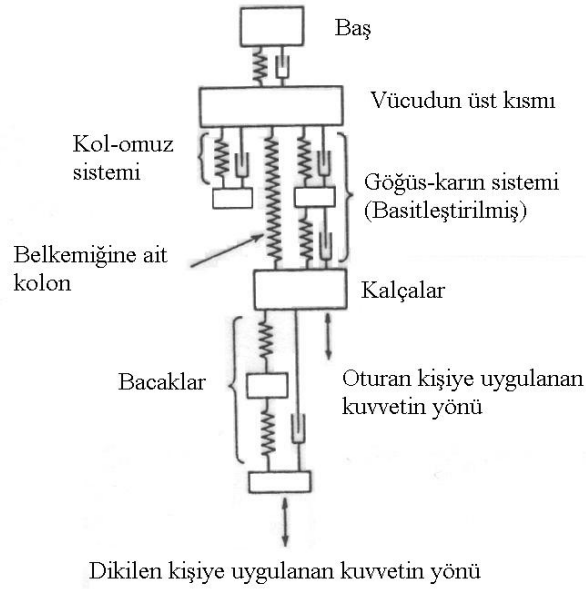
I. GİRİŞ

Günümüzde, uzun yol seyahatlerinde olsun şehiriçi ulaşımda olsun insanlar genelde karayolu taşıtlarını tercih etmektedirler. Motorlu taşıtlar adı altında toplayabileceğimiz, otobüs, kamyon, traktör, otomobil gibi nakil araçlarında seyahatlerini gerçekleştiren insanlar bazen oldukça uzun süreler bu taşıtların içinde kalmak zorundadırlar. Böyle durumlarda insanların rahatını ve emniyetini optimum düzeyde sağlamakta mühendislik biliminin bir görevidir. Hem konforun, hem de emniyetin birlikte sağlanması, günümüzde taşıt ergonomisi ile ilgilenenlerin en büyük çalışma alanlarından birini oluşturmaktadır. Taşıtta oluşan titreşimlerin iki ana kaynağından biri olan motor ve iletim organlarından gelen titreşimler, hem başarılı bir şekilde yok edilebilmekte hem de yüksek frekanslı olduklarından, doğal frekansı düşük değerler arasında olan insan için önem oluşturmamaktadırlar. Esas kaynak olan yol pürüzlülüğü ise çalışmaları; yoldan gelen uyarıların anlaşılıp sonra en uygun şekilde sönmülmesine doğru kaydırmaktadır. Çalışmada da böyle bir işleyiş kabul edilmiştir. Yoldan gelen uyarılar çok az olduğundan otomobil ve otobüslerdeki titreşim problemi, bozuk yol ve arazi şartlarında çalışan traktör, kamyon, ağır iş makinaları ve arazi taşıtlarına nazaran çok daha azdır. Bu yüzden araştırmalarında bu tip bozuk yol koşullarında çalışan taşıtlar üzerinde yoğunlaşması doğaldır.

1.1. Ergonomik Açıdan Taşıtların Titreşimleri

İnsanlar seyahatleri sırasında çeşitli nedenlerden kaynaklanan mekanik titreşimlere maruz kalmaktadırlar. İnsan açısından rahatsızlık verici bu durumun iyileştirilmesi amacıyla son yıllarda pek çok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalardan birisini gerçekleştiren Rakheja ve Sankar'a göre; sürekli olarak bozuk arazilerde geniş spektrumlu düşük frekansa maruz kalan kamyonlarda, traktörlerde ve diğer arazi taşıtlarında çalışan kişilerde hem fiziksel sağlık sorunlarına hem de psikolojik rahatsızlıklara rastlanmaktadır [1]. Çalışan kişiler açısından, ortaya çıkan bu sorunların giderilmesi son derece önemlidir. İşçilerin, çalışma alanlarını ve kullandıkları aletlerin, en uygun şekilde dizayn edilmesi çalışmalarını yönlendiren bir bilim dalı olan ergonomi taşıtların titreşimleri ile de yakından ilgilenmektedir [2]. Traktör, kamyon ve diğer yol dışı taşıtlarda çalışanların titreşimden çok fazla etkilenmelerinin sebebi taşıt-oturak-sürücü

sisteminin bağımsız doğal titreşim frekanslarının birbirlerine çok yakın değerlerde olmasından (2-8 Hz) kaynaklanmaktadır. Belirlenen bu zıt titreşimlerin kaynağı motor veya hareket iletim sistemleri değil lastik ile yol arasındaki uyumsuzluktan oluşmaktadır [3,4]. Mekanik titreşimler; sürücü koltuğu, vites ve pedallar üzerinden sürücüye intikal eder. Bu titreşimlerin yoğunluğu, frekansı kadar süresi de önemlidir. Burada baz olarak ele alınan insanın kendisi olduğuna göre öncelikle insan vücudunun bazı özelliklerini bilmemize gereksinme vardır. Vücut hiç bir zaman katı bir kütle olarak düşünülemez. Vücut, epey karmaşık, farklı kütlelerin oluşturduğu, yaylanma etkisi, sönümlenme etkisi ve doğal frekansları farklı olan elastik bir sistemdir [3]. Şekil 1.'de gösterilen sistem düşük frekanslı titreşimlere maruz kalan insanın bu titreşimlere karşı olan cevabının tanımlanması için yeterlidir. Bununla beraber, sistemdeki elemanlara sayısal değer vermek zordur, çünkü ele alınan kişinin vücut tipi, durumu, kas kuvveti ve uyarılara karşı tepkileri genelde farklıdır [5].



Şekil 1. Düşey yönde düşük frekanslı titreşime maruz kalan, ayakta dikilen bir insanın vücudunun basitleştirilmiş mekanik sistem tasarımı [5].

Özellikle düşük frekans aralığında, uzun süreli ve düşey yönde etkiyen taşıt titreşimlerinin insan üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir. Bu olumsuz etkilerin ortadan kaldırılabilmesi için sönümlenme sistemlerinin ve sürücü koltuğunun iyileştirilmesi gerekmektedir.

I.2. Taşıtlardaki Şok ve Titreşimlerin Nedenleri

Taşıtlardaki şok ve titreşimlerin iki ana kaynağı vardır. Birincisi iç kaynaklar, ikincisi de dış kaynaklardır. Taşıtta titreşime neden olan iç kaynaklar; motor, güç iletim sistemleri (vites mekanizması, debriyaj, diferansiyel) ve tekerlek-lastik tertibatıdır [6]. Bu mekanik sistemler her ne kadar titreşim yaratsalar da günümüz teknolojisi ile çok iyi sönümlenebilmişler ve taşıt içindeki kişilere ve mallara zararsız hale indirgenmişlerdir. Kişileri rahatsız eden taşıt titreşimleri, dış kaynaklı olan yani yolun pürüzlülüğünden ortaya çıkan taşıt titreşimleridir. Taşıtın sürüş karakteristiği üzerinde de en etken titreşim kaynağı taşıtın gittiği yolun pürüzlülüğüdür [7]. Genelde yoldan kaynaklanan bu titreşimlerin iyileştirilmesi ana problemi oluşturmaktadır. Yoldan gelen uyarılar, tekerleklerden gövdeye, yay ve sönüm elemanları üzerinden geçerler. Taşıt içinde oturan kişi ile taşıt gövdesi arasında da yine yay ve sönüm elemanlarından oluşan koltuk sistemi bulunmaktadır.

II. ÖRNEK UYGULAMA

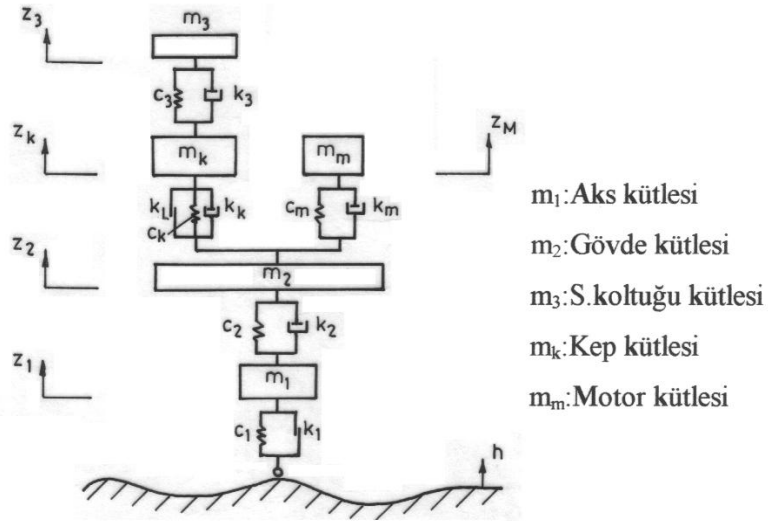
Bu çalışmada, yerli üretim bir kamyon modeli ele alınıp matematik modeli oluşturulduktan sonra bilgisayarda çözümü yapılmıştır. Her bir frekans değeri için z_3 sürücü koltuğu yerdeğişiminin, z_1 taşıt gövdesi yerdeğişimine bölümü ile iletkenlik oranları hesaplanıp, iletkenlik eğrisi çizilmiştir. İletkenlik eğrisinden, sürücü koltuğunun doğal frekansı ve sönümlenme oranı bulunmuştur.

Burunsuz tip kamyonlarda motor bölümü sürücü kabininin altında bulunmaktadır. Motorla ilgili bir arıza veya bakım söz konusu olduğunda kabinin öne doğru açılması gerekmektedir. Önde lastik takozlar, arkada ise helisel yaylar ve yine lastik takozlarla kabin elastik olarak gövdeye bağlanmıştır. Ayrıca ön bölümde açılabilir hareketi sağlayan hareketli mafsallar şasiye bağlı olarak bulunmaktadır. Böyle bir elastik asılış düşey, yalpa ve başvurma titreşimlerine

neden olmaktadır. Bu çalışmada sadece düşey yöndeki titreşimler incelenmiş ve bulunan sonuçlar irdelenmiştir.

II.1. Uygulama İçin Taşıt Titreşim Modeli

Taşıtların modellenmesinde ve analizlerde birbirinden farklı çok sayıda taşıt titreşim modeli kaynak taramalarında karşımıza çıkmaktadır. Bu modeller; bir, iki ve çok serbestlik dereceli çeyrek, yarım ve tüm taşıt modelleri olmak üzere gruplandırılabilir. Sadece düşey yönde gövdenin hareketi incelenmek isteniyorsa bir serbestlik dereceli model dahi yeterli olabilmektedir. Yalnız, taşıta yoldan gelen uyarılar belirgin bir biçimde iki serbestlik dereceli modelin karakterinde olduğundan bu çalışmada iki serbestlik dereceli çeyrek taşıt modeli seçilmiştir. Taşıt titreşimlerini teorik yolla incelemek amacıyla Şekil 2.'deki gibi bir titreşim modeli kurulmuştur. Bu titreşim modeli üç kütleli basit sistem esas alınarak hazırlanmıştır. Taşıt titreşim modeline kabin kütlesi ve motor kütlesi ayrıca ilave edilmiştir [7-10].



Şekil 2. Uygulama için taşıt titreşim modeli.

Şekil 2.'de görülen taşıt titreşim modeliyle sadece düşey yöndeki titreşimler incelenebilmektedir. Kabini gövdeye bağlayan lastik takozların sönüm katsayıları (k_L) çok küçük olduğundan ihmal edilmiştir.

Çalışmada, uyarı fonksiyonu olarak sinüzoidal şekilde bir yol pürüzlülüğü ele alınmıştır. Taşıtın hızının her noktada sabit kaldığı ve genliğinde 10 cm olduğu kabul edilmiştir. Taşıtlar için 0-25 Hertz (Hz) aralığındaki frekans değerleri önemli olduğundan [11] frekans değeri 1 Hz'den 25 Hz'e kadar 1'er Hertz arttırılarak aynı işlemler tekrarlanmıştır. Süre tüm çalışmalarda 5 saniye olarak alınmıştır.

II.2. Bilgisayar Modellemesi İçin Hareket Denklemleri ve Teknik Veriler

Taşıt titreşim modelinin çözümü için gerekli hareket denklemleri yazılır.

$$m_3 \ddot{z}_3 + k_3 (z_3 - z_k) + c_3 (\dot{z}_3 - \dot{z}_k) = 0 \quad (1)$$

$$m_k \ddot{z}_k + 2k_k (z_k - z_2) + c_k (\dot{z}_k - \dot{z}_2) - k_3 (z_3 - z_k) - c_3 (\dot{z}_3 - \dot{z}_k) = 0 \quad (2)$$

$$m_m \ddot{z}_m + k_m (z_m - z_2) + c_m (\dot{z}_m - \dot{z}_2) = 0 \quad (3)$$

$$m_2 \ddot{z}_2 + k_2 (z_2 - z_1) + c_2 (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) - 2k_k (z_k - z_2) - c_k (\dot{z}_k - \dot{z}_2) - k_m (z_m - z_2) - c_m (\dot{z}_m - \dot{z}_2) = 0 \quad (4)$$

$$m_1 \ddot{z}_1 + k_1 z_1 + c_1 \dot{z}_1 - k_2 (z_2 - z_1) - c_2 (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) = k_1 h + c_1 \dot{h} \quad (5)$$

Diferansiyel denklemlerin bilgisayarda Runge-Kutta yöntemi ile çözümünden belli bir t anındaki sürücü koltuğu yerdeğişimi değeri (z_3) elde edilir. Son denklemdaki h , uyarı fonksiyonudur. Yol pürüzlülüğünün sinüs eğrisi şeklinde olduğu varsayıldığı için h 'ın denklemleri şu şekilde olmaktadır.

$$h = A \sin (2\pi f t) \quad (6)$$

(5) no'lu denklemden görüldüğü gibi h 'ın zamana göre 1. türevi de çözüm için gereklidir.

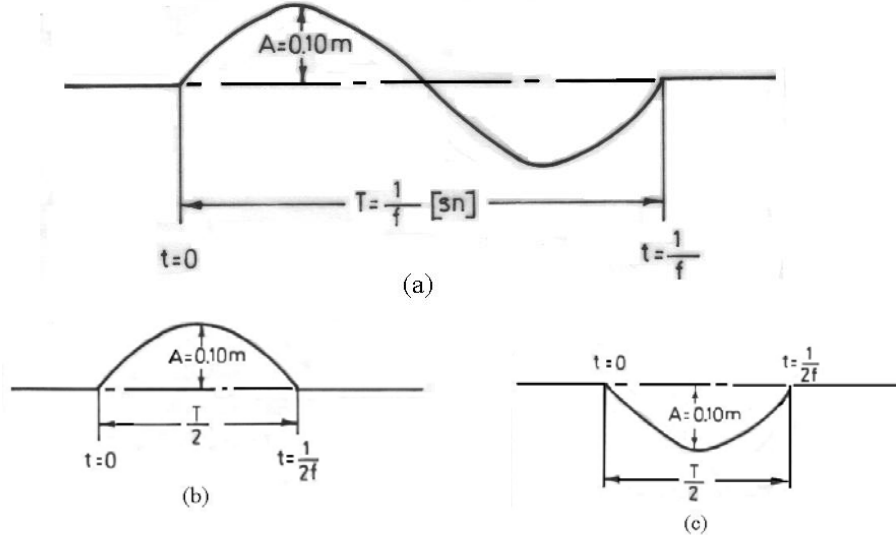
$$dh / dt = 2\pi f A \cos (2\pi f t) \quad (7)$$

Bu düzenlemelerden sonra taşıta ait değerlerde bilgisayar programına girilmiş ve sonra ODEPACK paket programının LSODA alt programı ile problem

çözölmüştür. Bilgisayar programına frekans, genlik, zaman gibi verilerin girilmesi ile elde edilen değerler ayrı dosyalarda saklanmış bu değerlerden tüm grafikler oluşturulmuştur.

II.3. Yol Profilleri

Karayollarında sinüzoidal şekilli yol profilleri ile sıklıkla karşılaşılmaktadır. Çalışmada ele alınan yol profilleri Şekil 3.'de verilmiştir. Taşıt bu engellerden geçtiğinde, gövdenin ve sürücü koltuğunun yerdeğişimi incelenmiştir.



Şekil 3. (a) Bir tümsek ve çukurdan, (b) bir tümsekten, (c) bir çukurdan oluşan yol profili.

III. BİLGİSAYAR ÇIKTILARININ İNCELENMESİ

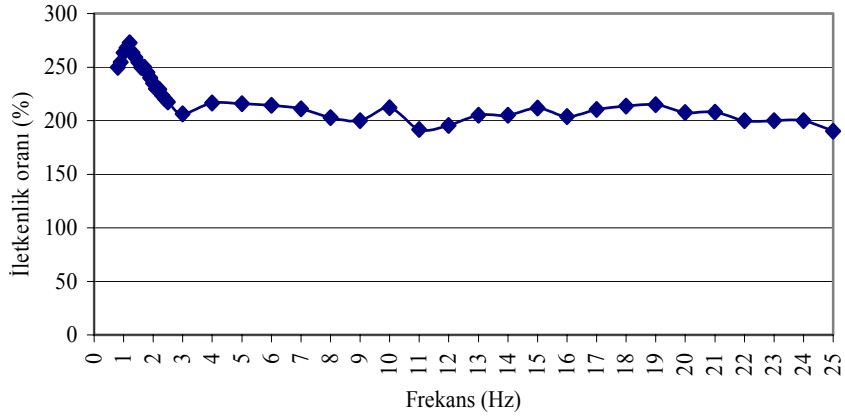
III.1. Sürücü Koltuğunun Titreşim İletkenlik Eğrisi

Sürücü koltuğunun titreşim özelliklerinin değerlendirilmesi için iletkenlik eğrileri yeterli bilgiye sahiptir [12]. Herhangi bir titreşim sisteminin iletkenliği, sisteme giren ve sistemden çıkan titreşim sinyallerinin genlik, hız veya ivme gibi niceliklerinin oranları ile belirtilebilir. Çalışmada genlik oranlarından yararlanılmıştır. Çalışmada taşıt gövdesinin genliği ve sürücü koltuğunun genliği aynı frekans değeri içinde birlikte hesaplanıp, ortak bir grafik çıkartılmıştır. 1-25 Hz arasında verilen her bir titreşim frekansına karşı sürücü koltuğunun iletkenliği; koltuk titreşim genliğinin (z_3), gövde titreşim genliğine (z_1)

bölünmesi ile elde edilmiş ve sonrada iletkenlik eğrisi çizilmiştir (Şekil 4). Saptanan bu titreşim iletkenlik oranlarından ayrıca sürücü koluğunun doğal frekansı ve sönümlenme değerinin bulunmasında da yararlanılmıştır.

III.2. Sürücü Koluğunun Sönümlü Doğal Titreşim Frekansının Saptanması

İletkenlik eğrisinin çizimi sırasında; 0-25 Hz aralığı 1'er Hz'lik arttırmalarla incelenmiştir. Koluğun doğal frekansını daha doğru saptayabilmek için iletkenliğin yüksek olduğu 0.8-2.5 Hz aralığı 0.1 Hz'lik arttırmalarla yeniden incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda sürücü koluğunun sönümlü doğal titreşim frekansının 1.2 Hz olduğu saptanmıştır.



Şekil 4. Sürücü koluğu iletkenlik eğrisi.

III.3. Sürücü Koluğu Sönümlenme Değerinin Hesaplanması

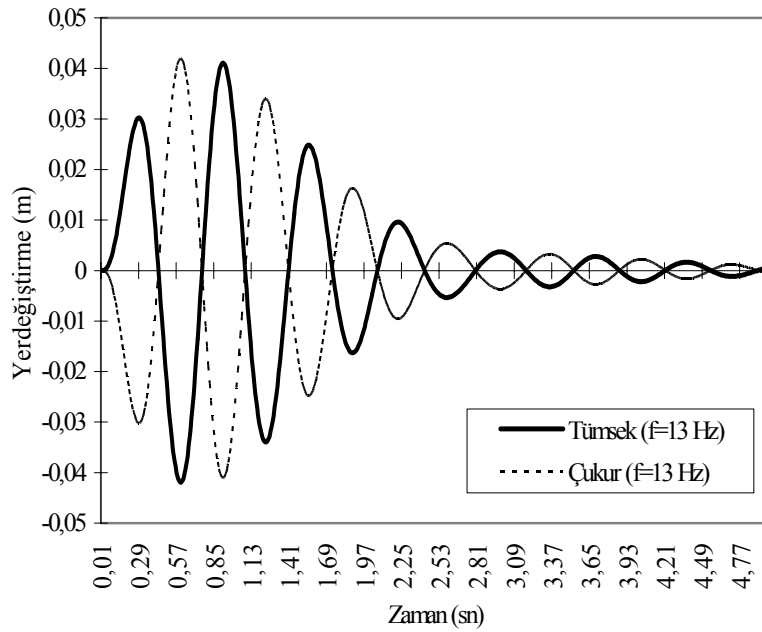
İletkenlik eğrisinde rezonans frekansının altında ve üstünde sönümlenme derecesinin etkileri azalır. Sönümlenmenin tam etkisi, rezonans frekansta, diğer deyimle iletkenliğin maksimum olduğu frekanslarda ortaya çıkar [12]. Maksimum iletkenlik oranına göre herhangi bir yalıtım sisteminin sönümlenme oranı ise (8) no'lu denklemden görüldüğü gibi düzenlenebilir.

$$D = \sqrt{\frac{1}{4(T^2 - 1)}} \quad (8)$$

Bu bağıntıda D , sönümlenme oranı; T ise rezonans halindeki iletkenlik oranıdır. Tek bilinmeyen olan T 'nin de denklemde yerine konulması ile D sönüm oranı sürücü koltuğu için hesaplanırsa; $D = 0.2$ bulunur.

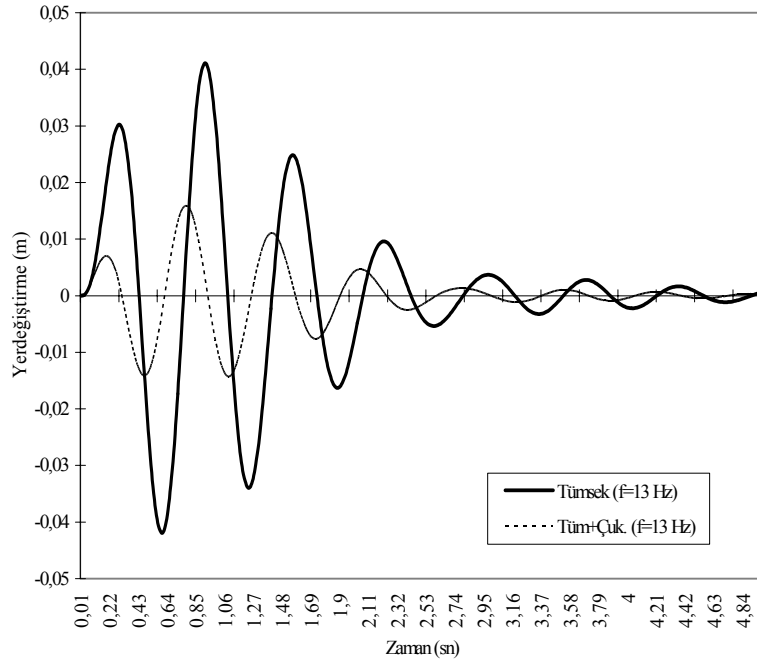
III.4. Değişik Yol Profillerinde Taşıt Titreşimlerinin İncelenmesi

Çalışmada iletkenlik eğrisinin çizimi, koltuk doğal frekansının bulunması ve sönümlenme oranının hesaplanmasından başka bazı incelemelerde yapılmıştır. Taşıtın aynı frekans değerinde (13 Hz) sırasıyla tek bir tümsek, tek bir çukur ve tümsek+çukur engellerinden geçtiğinde, sürücü koltuğunun yerdeğişimleri ele alınmış daha sonra tek bir tümsek ve tek bir çukur engelini yarattığı etkiler aynı grafik üzerinde Şekil 5.'de gösterilmiştir.



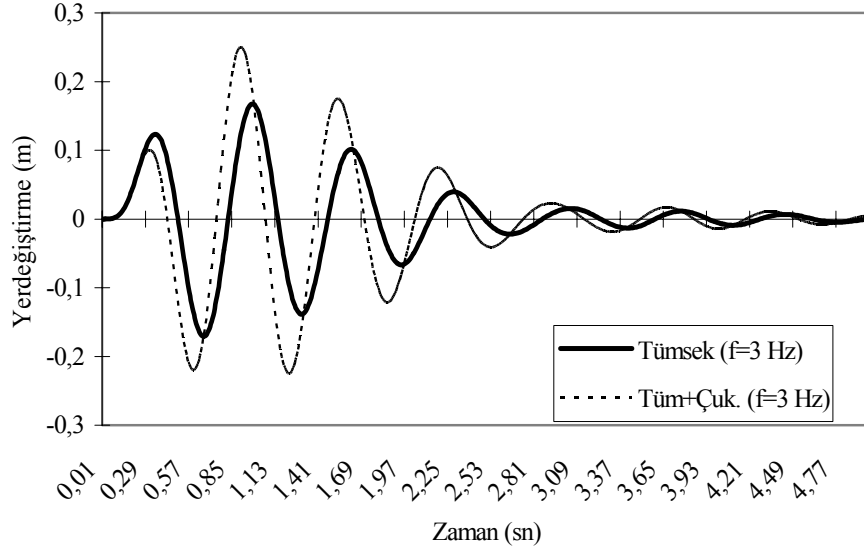
Şekil 5. Aynı frekans değeri içinde tümsek ve çukur engellerinin koltuk üzerinde yarattığı etkiler.

Şekil 5.'te görüldüğü gibi tümsek ve çukur engelleri aynı yerdeğişirme etkisi yaratmakta fakat engelin profilinden dolayı yönleri farklı olmaktadır. Her iki engel sonunda uyarı fonksiyonunun etkisiyle oluşan titreşimler aynı zamanda sönümlenmektedir. Aynı frekans değeri içinde, tek bir tümsek engelini, tümsek+çukur engeli ile karşılaştırılması yapılmış Şekil 6.'da grafiği verilmiştir.

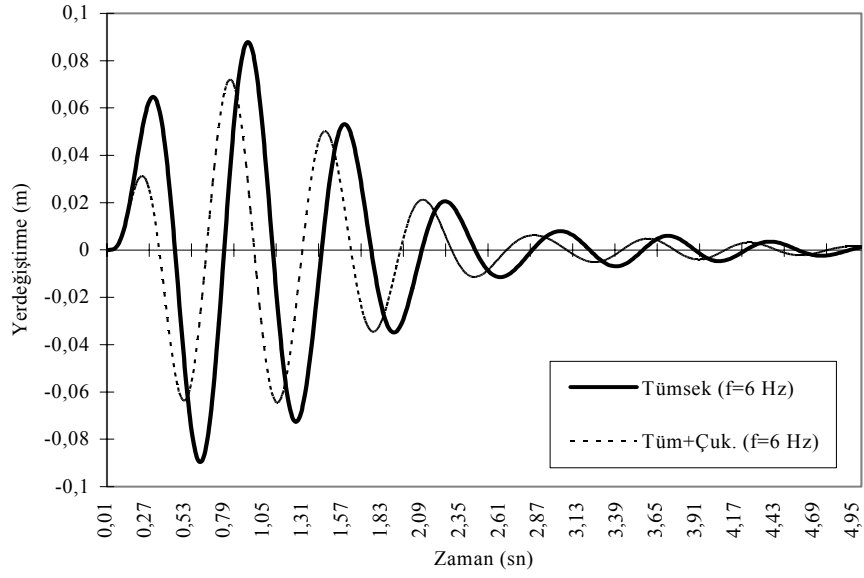


Şekil 6. Aynı frekans değeri içinde tümsek ve tümsek+çukur engelinin yarattığı etkiler.

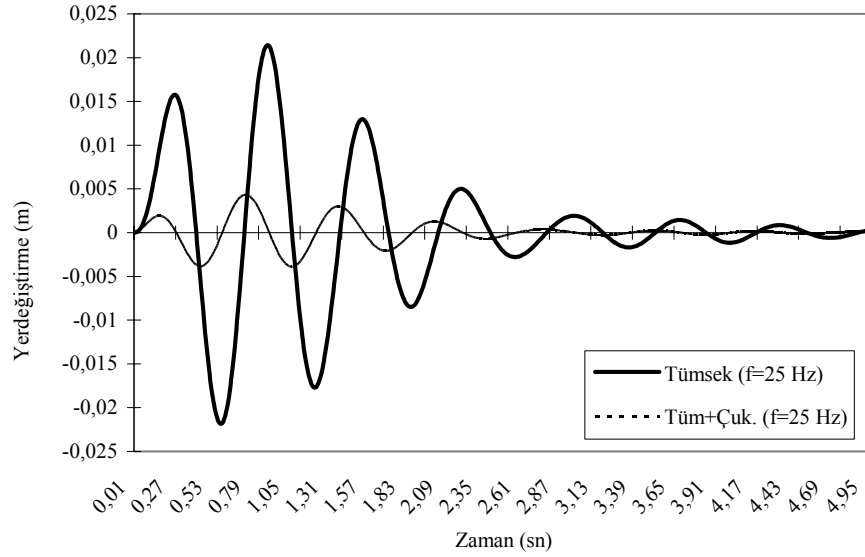
Grafikten de görüldüğü gibi tek tümsek engeli, tümsek+çukur engeline nazaran sürücü koltuğunun daha fazla yerdeğiştirmesine neden olmaktadır. Yalnız 1-4 Hz aralığında bunun tam tersi görülmektedir. 5 Hz ve sonrasında tümsek+çukur engeli sürücü koltuğunda daha az yerdeğiştirme yaratmaktadır. Bunun da sebebi; artan hızdan dolayı taşıt tek tümsek engelinden geçtikten sonra tekerlekleri sert zemine hızlıca çarptığından şok etkisi yaratmakta ve bu şok etkisinin sönümlenmesi, tümsek+çukur engelini düzgünce takip eden taşıttaki titreşimlerin sönümlenmesine göre daha geç olmaktadır. Şekil 7., 8. ve 9.'da sırası ile 3, 6 ve 25 Hz değerleri için çizilen grafikler, olayın daha iyi anlaşılabilmesini sağlamak amacı ile verilmiştir [13].



Şekil 7. 3 Hz için tümsek ve tümsek+çukur engelinin etkileri.



Şekil 8. 6 Hz için tümsek ve tümsek+çukur engelinin etkileri.



Şekil 9. 25 Hz için tümsek ve tümsek+çukur engelinin etkileri.

IV. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Yapılan çalışmalar sonunda; tümsek ve çukur engelleri aynı etkiyi yaratmakla birlikte yönleri farklıdır. Her ikisinde de sönümleme aynı zamanlarda olmaktadır. Tümsek+çukur engelinin diğerlerinden farklı olacağı kesindir. Burada söyleyebileceğimiz önemli bir hususta tümsek+çukur profilinin sürücüye etkisi 5 Hz'e kadar diğer engel profillerine nazaran oldukça kötü olmakta yalnız bu frekans ve sonrasında ise tam tersi gözlenmektedir. Bu da daha önce bahsedildiği gibi taşıtın hızı belli bir değerin üzerine çıktığında tekerlekler - eğer tek tümsek engeli inceleniyorsa - asfalt zemine hızla çarptığı için oluşan şok titreşimlerle açıklanabilir. Sürücü koltuğu doğal frekansı (1.2 Hz) değişik kaynaklarca verilen sürücü koltuğu doğal frekansı değerleri civarındadır (1.1-1.6 Hz). Fakat sönüm oranı (0.2) verilen değerlerin altındadır (0.4 - 0.7).

Taşıt gövdesinin doğal frekansı $v_{nG}=1.1$ Hz, sürücü koltuğunun doğal frekansı ise $v_{nk}=1.2$ Hz bulunmuştur. Taşıt gövdesinin doğal frekansının, sürücü koltuğunun doğal frekansına oranı 0.91 bulunmaktadır. Bu nokta genel titreşim iletkenlik eğrilerindeki $v/v_n < 1$ bölgesinde bulunduğundan bu bölgede sönüm oranının arttırılması faydalı olacaktır. Aktif süspansiyon sistemlerindeki maliyet

problemi aşıllp taşıtlarda uygulanması ile koltuk doğal frekansı en ideal değeri olan 1 Hz değerine indirilmiş olunacak ve böylece sürücünün aynı yol şartları içinde daha az etkilenmesi ve daha uzun süre konfor içinde oturabilmesi sağlanacaktır.

Sonuç olarak taşıtı kullanan kişinin en çok düşey yönlü yoldan kaynaklanan düşük frekanslı titreşimlerden etkilendiğini ve bununda esas sebebinin bozuk yol şartlarında taşıtın uzun süreli gitmesi durumunda olacağını söyleyebiliriz. Bu durum kamyon, otomobil, otobüs sürücüleri için kısa bir sürede önem taşımaya karşılık, traktör ve arazi taşıtlarını kullanan sürücüler için büyük önem taşımaktadır. Bu yüzden araştırmaların traktör ve arazi taşıtları sürücü koltuklarının optimum yalıtımı konusunda yoğunlaştırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Rakheja, S. and Sankar, S., "An Optimum Seat-Suspension for off-road Vehicles", *The Shock and Vibration Bulletin*, 53, pp. 19-35, 1983.
- [2] Weaver, B., "Ergonomics", *Pit&Quarry*, Vol.October, pp. 20-22, 1991.
- [3] H. Bölükoğlu ve O. Kunst, "Traktör koltuklarının tasarımında titreşimin önemi", II. Ergonomi Konferansı 1988, Bildiri Kitabı, ss. 432-443.
- [4] S. Orak ve B. Par, "Bir tarım traktörünün modellenmesi ve sürücü oturmağının parametrik optimizasyonu", 6. Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi 2-6 Eylül 1996, Ankara, Bildiri Kitabı, ss. 315-322.
- [5] E. D. Goldman and E. H. Gierge, "*Shock and Vibration Handbook (Effects of shock and vibration on man)*", Mc-Graw Hill Book Company Inc., 1961.
- [6] E. R. Engelhardt, D. K. Mills and K. Schneider, "*Shock and Vibration Handbook (Shock and Vibration in Road and Rail Vehicles)*", Mc-Graw Hill Book Company Inc., 1961.
- [7] Karaçay T., Eroğlu M. ve Aktürk N., "Gerçek yol girdisine maruz iki serbestlik dereceli çeyrek taşıt modelinin sürüş karakteristiğinin incelenmesi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt 18, No.4, ss. 1-13, 2003.

- [8] A. Güney ve M. Ereke, “Devrilebilir Sürücü Kabini Askı Elemanlarının Titreşim Konforuna Etkisi”, 4. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu Eylül 1990, Yalova-İstanbul, Bildiri Kitabı, ss. 233-243.
- [9] Yağız N., Yüksek İ. ve Güven H. R., “Taşıt süspansiyon sistemlerinin aktif kontrolünde kullanılan metodların tanıtılması ve kıyası”, *Mühendis ve Makina*, Cilt 40, Sayı 477, ss. 39-43, 1999.
- [10] Park S., Popov A. A. and Cole D. J., “Influence of soil deformation on off-road heavy vehicle suspension vibration”, *Journal of Terramechanics*, Vol.41, pp. 41-68, 2004.
- [11] A. Güney, “Taşıt Titreşimleri ve İrdelenmesi”, Yıldız Üniversitesi Seminer Notları, 1989, 35 s.
- [12] A. Sabancı, “*Tarım Traktörlerinde Titreşim Sorunları ve Sürücü Oturaklarının Yalıtım Özellikleri Üzerinde bir Araştırma*”, T.Z.D.K. Mesleki Yayınları No:35, 1984.
- [13] Ü. Er, “*Motorlu Taşıtlardaki Titreşimlerin Teorik Analizi ve Bir Bilgisayar Modellemesi*”, Yüksek lisans tezi, Osmangazi Üniv. Fen Bilimleri Ens., Eskişehir, 1996.