

DEPREM VE MAKİNA TİTREŞİMLERİNDEN KORUNMAK İÇİN TİTREŞİM YALITIMI

H. Nevzat Özgüven¹

1. GİRİŞ

Depremden korunmak için depreme dayanıklı binaların tasarlanması ve yapımı çok önemli olmakla birlikte, binaların içerisindeki hassas makina ve donanımın depremden korunması için bu yeterli olmayabilir. İnşaat mühendisleri, deprem anında binaların yıkılmasını ya da önemli hasarlar görmesini engellemeyi amaçlayacak şekilde sağlam binalar tasarlar; ancak bu tasarım, bina içindeki makina ve donanımın zarar görmeyeceğini güvence altına alamaz. Hassas ya da önemli makinaların ve donanımın zarar görmemesi için ya binanın depreme karşı yalıtımlı bir bina olması, ya da bu makinaların bağlandıkları zeminden yalıtılmaları gerekir. Her iki durumda da çözüm *titreşim yalıtımı* ile elde edilebilir. Amaç, hassas ve önemli

makina ve donanımın bağlandıkları ve deprem sırasında yüksek düzeyde titreşebilen zeminden yalıtılması, dolayısıyla zemin titreşimlerinin çok azının makina ve donanıma iletilmesidir.

Sismik izolasyon, yani **depreme karşı yalıtım**; kritik önemi olan elektrik ve mekanik sistemlerin, önemli tıbbi cihazların, değerli sanat eserlerinin, kültürel mirasın parçası olan ya da hasar görmesi durumunda insanlara zarar verebilecek, önemli kayıplara neden olabilecek, bir taşıyıcı sistem ya da zemin üzerine yerleştirilmiş nesnelere depreme karşı korunması için uygulanan titreşim yalıtımıdır.

Bu nesnelere, binanın titreşimlerine karşı yalıtımları yerine, binanın kendisinin zeminden yalıtımı da giderek yaygınlaşan bir uygulamadır (Şekil 1). Japonya'da

¹ Mak. Yük. Müh., ODTÜ Profesör - ozguven@metu.edu.tr



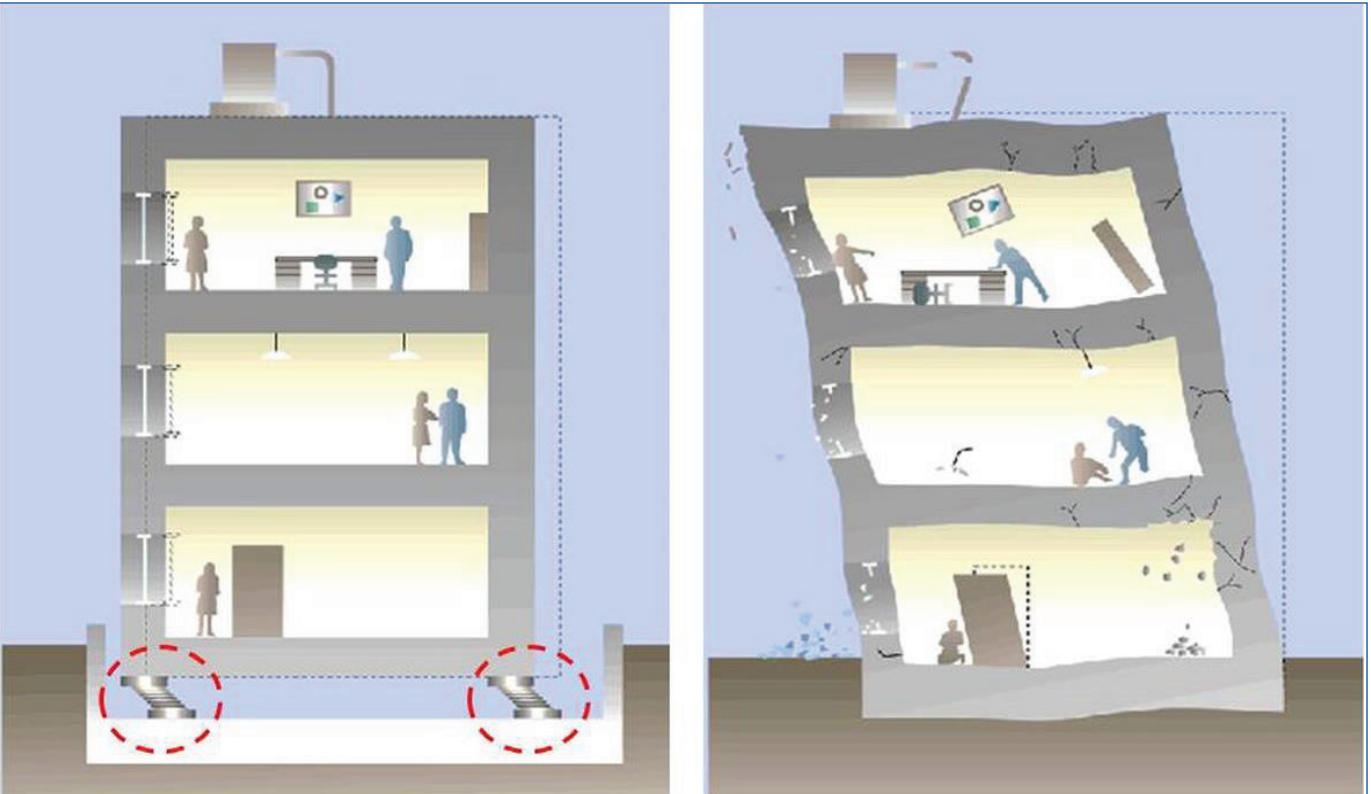
Şekil 1. Santa Monica, California'da Üç Katlı Bir Evin Depreme Karşı Yalıtımında Kullanılan Yay-Sönüm Sistemi (Creative Commons)

1980'lerden bu yana; binanın tümünün ya da bazı katlarının depreme karşı yalıtımı, yüksek binalarda ise titreşimi azaltacak sönüm elemanlarının kullanımı, depreme karşı yalnız binayı değil, bina içindeki kişileri, makinaları ve

diğer eşyaları da koruma amaçlı uygulanan depremden korunma yöntemlerindedir (Şekil 2).

Öte yandan, **makinalarda titreşim yalıtımı**, yani makinelerin çalışmaları sırasında oluşan dinamik kuvvetlerin yalnızca çok küçük bir kısmının makinanın bağlandığı zemine, dolayısıyla yapıya iletilmesi için yapılan titreşim yalıtımı (Şekil 3), makina mühendislerinin çok iyi bilmesi gereken önemli bir konudur.

Şekil 4'te görülen, binden fazla kişinin ölümüne neden olan felaket, deprem nedeniyle değil binanın en üst katındaki dizel jeneratörlerinin yarattığı titreşimler nedeniyle 2013 yılında Bangladeş'te yaşanmıştır. Sorun yalnız çürük bina değil, aynı zamanda doğru titreşim yalıtımının olmayışındır. Doğru titreşim yalıtımı için birçok kaynaktan öneriler bulunmaktadır. Örneğin, ASHRAE El Kitabında, HVAC (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) sistemlerinde titreşim yalıtımını sağlamak için kullanılacak titreşim yalıtıcı destek seçimine ilişkin kılavuz verilmektedir. Ancak, titreşim yalıtımının temel ilkeleri bilinmediği zaman bu kılavuzlardaki bazı önerileri değerlendirmek olanaksızdır. Örneğin, pompalarda dönme hızı azaldıkça, kullanılması önerilen titreşim yalıtıcının sağlaması gere-



Şekil 2. Depreme Karşı Yalıtımlı Bir Bina İle Depreme Dayanıklı Ama Titreşim Yalıtımı Olmayan Bir Binanın Karşılaştırılması [1]



Şekil 3. Makinalarda Titreşim Yalıtıcı Kullanımına Örnek
(Kaynak: Embelton Engineering)

ken en az statik çökmenin neden arttığı anlaşılabilir, ya da belli bir dönme hızı aralığı için verilen titreşim yalıtıcı en az statik çökme değerinin, bu aralıktaki en düşük ve en yüksek dönme hızları için titreşim yalıtımını ne ölçüde sağlayacağı kestirilemez.

Bu yazıda, titreşim yalıtımının temel ilkeleri en basit şekliyle verilmiştir. Makina ve diğer önemli donanımın, deprem ya da başka nedenlerle oluşabilecek zemin titreşimlerinden yalıtımı ilkesi ile makinaların çalışmalarından kaynaklanan dinamik kuvvetlerin zeminden yalıtılması ilkesi aynıdır. Bu yazıda verilen yalıtıcı destek tasarımı yöntemi; hem makina titreşimlerinin yalıtımı, yani makinaların çalışmaları sırasında oluşan titreşim kaynaklı dinamik kuvvetlerin bağlandıkları zeminden yalıtılmaları için, hem de her türlü yapı, makina ve donanımın bağlandıkları zeminin harmonik titreşimlerinden yalıtılması için kullanılabilir. Sismik izolasyon, yani depremden kaynaklı yer titreşimlerinin yalıtımı iki nedenle daha karmaşıktır: Birincisi, depremden kaynaklı yer titreşimleri tek bir frekansta uygulanan harmonik titreşimler değil, belli bir frekans bandındaki frekanslarda bileşenleri olan gelişigüzel titreşimlerdir. İkincisi, depremden kaynaklı yer hareketleri üç yöndedir ve bu yüzden, tasarlanacak titreşim yalıtıcı da genellikle daha karmaşık olacaktır. Bu amaçla geliştirilmiş, üç yönde de titreşim yalıtımı sağlayabilen özel sismik yalıtıcılar da bulunmaktadır [2]. Yine de titreşim yalıtımının temel ilkeleri bilinirse, düşey ve yatay yönde basit modeller kullanarak, deprem kaynaklı yer titreşimlerinin en etkin olduğu frekanslar için, bir yalıtıcının sismik izolasyonu ne ölçüde sağlayacağı hakkında fikir elde edilebilir.

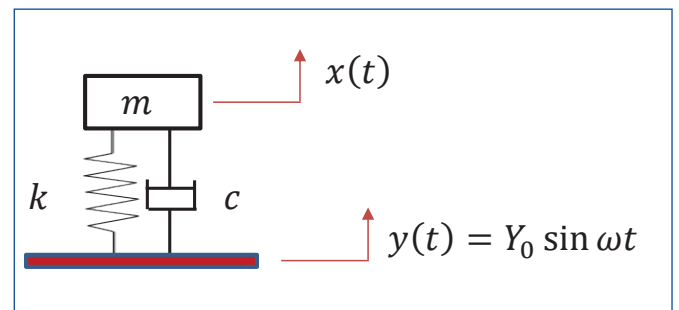


Şekil 4. Bangladeş, Rana Plaza. Yıkılma Nedeni: Jeneratörlerin Neden Olduğu Bina Titreşimleri

2. MAKİNA VE DONANIMIN TİTREŞEN ZEMİNDEN YALITIMI – HAREKET YALITIMI

Deprem ya da başka nedenle titreşen bir zemin üzerindeki makina ve donanımın yalıtımı için kullanılacak en basit titreşim modeli, Şekil 5'te gösterilen tek serbestlik dereceli modeldir. Tek serbestlik dereceli bu model; makinanın kütlesi, yalıtıcıların toplam direngenliğini (toplam yay sabitini) içeren bir yay ve yalıtıcıların sönümünü temsil eden viskoz sönüm elemanından oluşur. Depreme karşı yalıtım söz konusu olduğu zaman zemin titreşimleri hem yatay hem de düşey yönde olacağından, pratik ve basit bir yöntem, her yön için ayrı bir tek serbestlik dereceli model oluşturmaktır. Hareket yalıtımı için kullanılacak bir model Şekil 5'te verilmiştir.

Burada m yalıtılacak sistemin kütlesini, k yalıtıcının toplam direngenliğini (yay sabitini), c yalıtıcının viskoz sönüm katsayısını, $y(t)$ ise zeminden gelen titreşimleri göstermektedir. Düşey titreşimlerin yalıtımı amaçlandığında,



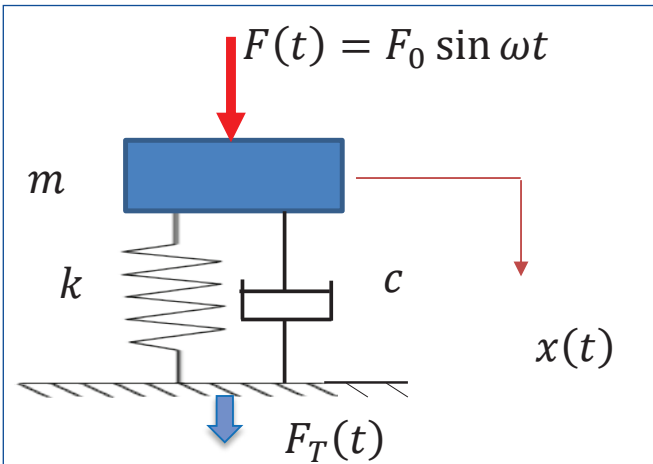
Şekil 5. Bir Makinanın Bağlandığı Zeminin Titreşimlerinden Yalıtımı (Hareket Yalıtımı) İçin Kullanılacak Tek Serbestlik Dereceli Model

$y(t)$ makinanın bağlandığı zeminin düşey titreşimlerini tanımlar; bu durumda k ve c titreşim yalıtıcının düşey yöndeki, sırasıyla, direngenliği ve viskoz sönüm katsayısı, $x(t)$ ise makinanın düşey yöndeki titreşimleridir. Benzer bir model, yanal titreşimler için de oluşturulabilir. Bu durumda k ve c titreşim yalıtıcının yatay yöndeki (yanal titreşimler yönündeki) değerleridir; $y(t)$ ve $x(t)$ ise, sırasıyla, zeminden gelen yanal titreşimleri ve makinanın yanal yöndeki titreşimlerini tanımlar. Söz konusu zemin titreşimleri depremi temsil ettiğinde $y(t)$ harmonik olmayacak, belli bir frekans bandındaki birçok harmonik fonksiyonun toplamından oluşacaktır.

Hareket yalıtımında amaç, titreşen zemine bağlı makinanın titreşim genliğinin (X_0), zemin titreşim genliğine (Y_0) göre çok daha düşük olmasının sağlanmasıdır. Yani, iki genliğin oranı olarak tanımlanan **iletim oranının** ($Tr = X_0/Y_0$) mutlaka birin altında, ama olabildiğince küçük olması hedeflenir.

3. MAKİNA TİTREŞİMLERİNİN, BAĞLANDIKLARI ZEMİNDEN YALITIMI – KUVVET YALITIMI

Makinaların çalışmaları nedeniyle oluşan dinamik kuvvetleri bağlandıkları zeminden yalıtım için kullanılacak tek serbestlik dereceli titreşim modeli, Şekil 6'da gösterilmiştir. $F(t)$ makinede oluşan harmonik dinamik kuvveti, $F_T(t)$ ise zemine iletilen harmonik kuvveti göstermektedir. Diğer değişkenler önceki kısımda tanımlandığı gibidir: m yalıtılacak sistemin kütlesi, k yalıtıcının toplam direngenliği, c yalıtıcının viskoz sönüm katsayısı.



Şekil 6. Makina Titreşimlerinin Zeminden Yalıtımı (Kuvvet Yalıtımı) İçin Kullanılabilecek Tek Serbestlik Dereceli Model

Kuvvet yalıtımı amacıyla yapılacak yalıtıcı tasarımında hedef, zemine iletilen dinamik kuvvetin genliğinin (F_{T0}), makina titreşimlerine neden olan dinamik kuvvetin genliğine (F_0) göre çok daha küçük olmasının sağlanmasıdır. Yani, iki genliğin oranı olarak tanımlanan **iletim oranının** ($Tr = F_{T0}/F_0$) mutlaka birin altında, olabildiği kadar da küçük olması sağlanarak makina titreşimlerinin zeminden yalıtılmasıdır. Yanlış bir tasarım, makinede oluşan dinamik kuvvetin artarak zemine iletilmesine, dolayısıyla, zemine iletilen toplam kuvvetin (makinanın ağırlığı + zemine iletilen dinamik kuvvet) çok büyük değerlere ulaşmasına neden olabilir. Bunun ne kadar kötü bir sonuç verebileceğine çarpıcı bir örnek yukarıda Şekil 4'te görülmektedir.

Makina titreşimlerinin yalıtımı için tasarlanan bir yalıtıcı desteğin, aynı makinanın deprem yalıtımında yarar sağlaması beklenmemelidir, zira makina titreşimlerinin yalıtımı hesabında kullanılan tahrik frekansı, depremin yaratacağı titreşimlerin baskın olduğu frekanslardan genellikle farklıdır. Bu nedenle de birçok makinanın zemine montesinde kullanılan titreşim yalıtıcı; deprem durumunda zemin titreşimlerinin makinaya artarak iletimini önlemek için, belli bir değerin üzerindeki titreşimleri sınırlandıracak şekilde tasarlanır (Şekil 7). Bu tür yalıtıcılar, kimi zaman **sismik izolatör** olarak da anılırlar. Kullanılan bu deyiş, bu yalıtıcının, depreme karşı titreşim yalıtımını da sağlayacağı izlenimini vermemesi gerekir. Bu şekilde tasarlanmış titreşim yalıtıcılar depreme karşı yalıtım sağlamayabilirler; yalnız, deprem olması durumunda makinaya iletilecek titreşimlerin aşırı yükselmesini ve büyük hasarların olmasını engellerler.



Şekil 7. Sismik İzolatör Olarak Anılan Titreşim Yalıtıcılarına Örnekler (Kaynak: Embelton Engineering)

4. TİTREŞİM YALITICI TASARIM

Bir makina için titreşim yalıtıcı tasarımında ilk adım, *kullanılacak yalıtıcı malzemesine karar vermektir*. Metal yaylar en çok kullanılan yalıtıcılar olmakla birlikte, çok düşük

hızlarda çalışan makinalarda ancak hava yastığı ile istenilen yalıtım sağlanabilir. Çok yüksek hızda çalışan ve kendi ağırlığı altındaki statik çökmenin çok az olması istenen makinalar için elastomer ya da mantar esaslı yalıtıcıların kullanımı uygun olur.

İkinci adım ise istenilen iletim oranını sağlayacak *yalıtıcı direngenliğinin* (ya da makinanın ağırlığı altında yalıtıcının *en az çökme* değerinin) *hesaplanması* aşamasıdır. İletim oranı tahrik frekansına bağlı olarak değiştiğinden, tasarım, verilen bir tahrik frekansı için yapılır. Tahrik frekansı, kuvvet yalıtımı uygulamalarında genellikle makinanın çalışma hızıdır; hareket yalıtımında ise, zemin titreşim frekansıdır. Zemin titreşimlerinin deprem kaynaklı olması durumunda, tek bir tahrik frekansından söz edilemeyeceğinden, giriş bölümünde değinilen nedenlerle yalıtıcı tasarımı daha karmaşık olacaktır. Kuvvet yalıtımı amaçlı bazı uygulamalarda ise; yalıtıcıların yerleri, toplam yay direngenliğinin yalıtıcılara dağılımı gibi konular da önemli olur ve yalıtıcı tasarımına ek bir boyut getirir. Yalıtıcı türü, yalıtıcıların yerleri gibi konular ASHRAE El Kitabı ve diğer kaynaklarda ayrıntılı olarak çizelgeler halinde verilmiştir. Kullanılması önerilen yalıtıcının sağlaması gereken en az çökme değerleri de bu çizelgelerde yer almakla birlikte, yine giriş kısmında değinildiği gibi, sağlanması istenen yalıtım ile çökme değerleri arasındaki matematiksel ilişki, bu kılavuzlarda verilmemektedir. Bu yazının amaçlarından birisi, mekanik titreşimler konusunda yeterli bilgi olmayan mühendislere bu ilişkiyi ve bundan yararlanarak, istenilen yalıtımı sağlayacak titreşim yalıtıcı destek özelliklerini hesaplayabilmesi için gerekli teorik bilgiyi en yalın şekliyle aktarmaktır. Yani, tasarımın ikinci aşaması olan *yalıtıcı direngenliğinin* (ya da makinanın ağırlığı altında yalıtıcının sağlayacağı *en az statik çökme* değerinin) hesaplanma yöntemini vermektir.

Hem hareket yalıtımında hem de kuvvet yalıtımında amacımızın, **iletim oranının** "bir" sayısal değerinin altında, olabildiği kadar da küçük olmasını sağlamak olduğunu hatırlayalım. İletim oranının birden küçük olması; hareket yalıtımında, makina titreşimlerinin genliğinin (X_0), zemin titreşimlerinin genliğine (Y_0) göre daha küçük olması; kuvvet yalıtımında ise, zemine iletilen dinamik kuvvetin genliğinin (F_{T0}), makina titreşimlerinin neden olduğu dinamik kuvvetin genliğine (F_0) göre daha küçük olması demektir. İlginç olan, her iki durum için iletim oranı tanımlarının farklı olmasına karşın, bu oranın yalı-

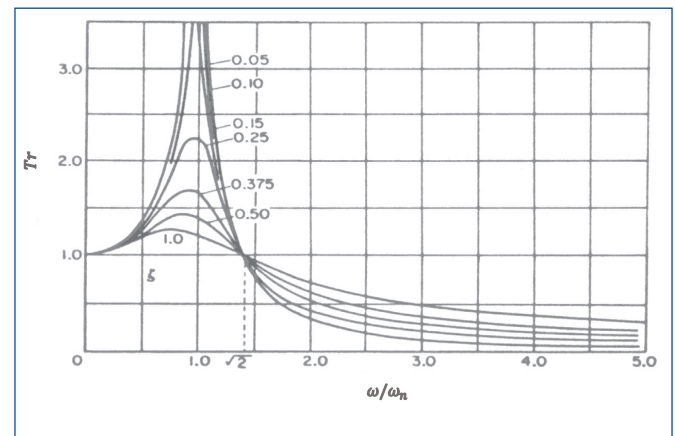
tıcı değişkenleri ve tahrik frekansıyla değişiminin aynı matematiksel formülle gösterilmesidir. Dolayısıyla, bu bölümde verilen yalıtıcı tasarım esasları, her iki problem için de geçerlidir. Ancak şunu unutmamak gerekir; yalıtıcı tasarımı, verilen bir frekans için yapılabilir. Bunun anlamı, bir frekans için yapılan tasarımın farklı bir frekans için yalıtım sağlamayabileceğidir. Farklı hızlarda çalışma durumunda olan bir makina için titreşim yalıtıcı destek, en düşük frekans (en düşük çalışma hızı) için tasarlanmalıdır. Bu şekilde bir tasarım yapıldığında, aşağıda verilen temel ilkelerden kolayca görüleceği gibi, daha yüksek frekanslarda çok daha iyi performans elde edilecektir. Ayrıca, bu yazıda verilen temel ilkeler bilindiğinde, belli bir frekans için tasarlanan yalıtıcının farklı bir frekans-taki performansının ne olacağı kolayca hesaplanabilir.

Yalıtıcı direngenliğinin hesaplanması aşamasında; iletim oranı (Tr) ile makinanın kütlesi (m), yalıtıcı özellikleri (k ve c) ve tahrik frekansı (ω) arasındaki ilişki kullanılır. Doğrudan k ve c 'nin kullanımı yerine, bu değişkenlere bağlı olan, sistemin doğal frekansının ($\omega_n = \sqrt{k/m}$) ve (viskoz) sönüm oranının ($\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$) kullanımı, hesaplama-da kolaylık sağlar. Bu ilişki aşağıda verilmiştir:

$$Tr = \frac{X_0}{Y_0} = \frac{\sqrt{1 + (2\zeta\frac{\omega}{\omega_n})^2}}{\sqrt{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2})^2 + (2\zeta\frac{\omega}{\omega_n})^2}} \quad (1)$$

Bu ilişkiden yararlanarak yalıtıcı tasarımının nasıl yapılacağını incelemeye başlamadan önce, **iletim oranının** (Tr), **frekans oranı** (ω/ω_n) ile değişiminin grafiğini inceleyelim (Şekil 8).

Şekilden görüleceği gibi; her sönüm oranı için geçerli



Şekil 8. Çeşitli Sönüm Oranları İçin, İletim Oranının Frekans Oranı ile Değişimi

olan eğri farklıdır, ama her sönüm değeri için geçerli olan kural, iletim oranının birin altında olması için frekans oranının $\sqrt{2}$ 'den büyük olmasının gerektiğidir. Frekans oranını $\sqrt{2}$ 'den ne kadar büyük olursa iletim oranı da o kadar küçük olur. Genel kural; tahrik frekansının, sistemin doğal frekansının en az 3-5 katı olmasıdır. Ayrıca, bu frekans oranları için sönümün, tahminlerin aksine, olabildiğince küçük olmasının daha iyi sonuç vereceğini Şekil 8'deki eğrilerden kolayca görebiliriz. Sönüm, dolayısıyla sönüm oranı, kullanılan yalıtıcı malzemesine bağlıdır. Bu nedenle ilk aşamada, yalıtımı yapılacak makineye göre kullanılacak yalıtıcı malzemesine karar verilmesi gerekir. Kullanımı en yaygın olan metal yaylar için 0 (sıfır) alınabilecek olan sönüm oranı, elastomer yalıtıcı desteklerde malzemenin özelliğine bağlı olarak 0,05 – 0,3 arasında değişir, hatta daha yüksek değerlere çıkabilir. Kullanılacak yalıtıcı malzemesine karar verildiğinde, bu malzemenin sönüm oranı, dolayısıyla Şekil 8'de verilen eğrilerden hangisinin geçerli olduğu da biliniyor demektir. Bu eğrilerden görüleceği gibi, frekans oranının $\sqrt{2}$ 'den küçük olması durumunda, sönüm değeri ne olursa olsun titreşim iletim oranı birden büyük olacaktır. Bu durumda sönümün artması iletim oranını azaltacaktır.

Aşağıda verilen yöntem uygulanarak, istenilen iletim oranı için frekans oranının ne olması gerektiği kolayca hesaplanır. Uygulamalarda kimi zaman **iletim oranı** yerine,

$$YY = (1 - Tr) \times 100 \quad (2)$$

eşitliğiyle tanımlanan **yalıtım yüzdesi** kullanılır. Örneğin, 0,1 iletim oranı, %90 yalıtıma karşı gelir. Daha anlaşılır olması bakımından uygulamada bu tanım yeğlenmektedir.

İstenilen yalıtımı sağlayacak yalıtıcı özelliklerinin hesaplanmasındaki adımlar aşağıda özetlenmiştir:

Birinci Adım: Eşitlik 2 kullanılarak istenilen yalıtım yüzdesi (YY) için iletim oranı (Tr) hesaplanır.

İkinci Adım: Eşitlik 1 kullanılarak; yalıtıcı türü için geçerli sönüm oranı (ζ) ve tahrik frekansı (ω) için sistemin doğal frekansının (ω_n) ne olması gerektiği bulunur. Doğal frekansın en fazla bu değerde olması gerekir ki, frekans oranı daha küçük bir değerde olmasın ve Şekil 8'den görüleceği gibi, iletim oranı da yükselmesin. Farklı frekanslarda çalışma durumu olan makinalarda tasarım en düşük frekansa göre yapılır. Dolayısıyla, makina daha yüksek frekansta çalıştığı zaman, yalıtım, tasarımın yapıldığı değer-

den daha düşük olmaz, tam tersine yalıtım, hedeflenen değer üzerinde olur.

Üçüncü Adım: Bulunan doğal frekansı sağlayabilmek için titreşim yalıtıcının direngenliğinin ne olması gerektiği $\omega_n = \sqrt{k/m}$ eşitliğinden kolayca hesaplanır. Buradan bulunacak direngenlik, istenilen yalıtımı sağlayacak en büyük değerdir. Direngenlik bu değerden daha küçük olursa sorun olmaz, çünkü doğal frekans da daha küçük olur. Bu da frekans oranının yükselmesi, yani iletim oranının azalması, yalıtım yüzdesinin artması demektir.

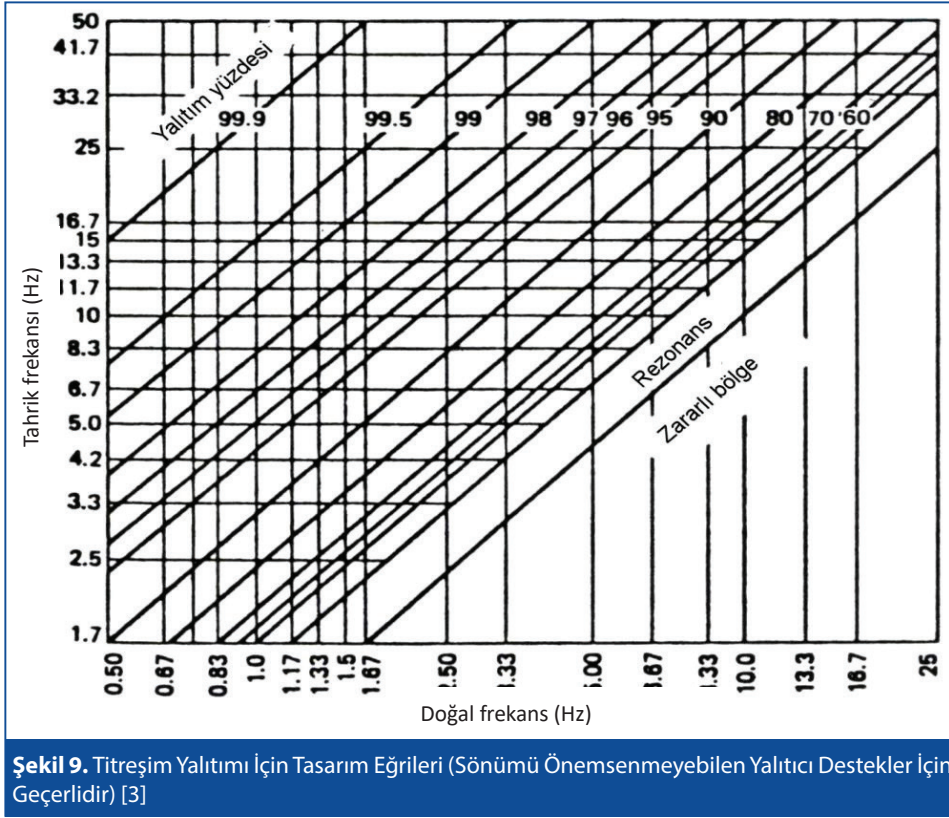
Üçüncü adımda hesaplanan direngenlik, kullanılacak bütün titreşim yalıtıcıların toplam direngenliğidir. Her desteğe aynı yükün gelmesi durumunda bu değer toplam yalıtıcı destek sayısına bölünerek tek bir yalıtıcı desteğin direngenliği bulunmuş olur.

Pratikte, yalıtıcı desteğin *direngenliği* yerine *en az statik çökme* değeri yaygın olarak kullanılmaktadır. *Statik çökme*, yalıtıcı destekler üzerine yerleştirilen makinanın, kendi ağırlığı nedeniyle oluşacak statik çökmeyi belirtir. Statik çökme ile sistemin doğal frekansı arasındaki ilişki şu şekildedir:

$$\omega_n = \sqrt{g/\delta_{st}} \quad (3)$$

Burada g yer çekimi ivmesi, δ_{st} ise kütlesi m olan makinanın, yalıtıcı destek üzerinde, kendi ağırlığı nedeniyle oluşturacağı statik çökmedir. Yalıtıcı destek tasarımında titreşim yalıtıcı desteğin *toplam direngenliği* yerine *statik çökme* değeri kullanılmak istendiğinde, tasarımın üçüncü adımında eşitlik 3 kullanılarak, ikinci adımda hesaplanmış olan doğal frekansı verecek statik çökme bulunur.

Titreşim yalıtıcı olarak çelik yay kullanıldığında sönüm 0 alınabileceğinden eşitlik 1 çok basitleşecektir. Böyle bir durumda, birinci ve ikinci adımlardaki işlemler yerine doğrudan Şekil 9'da verilen tasarım eğrileri kullanılarak, bilinen tahrik frekansı ve istenilen yalıtım yüzdesi için sistemin doğal frekansının en fazla ne olması gerektiği bulunabilir. Genel kural olarak, sistemin tahrik frekansının, doğal frekansın en az 3-5 katı olacak şekilde tasarım yapılmasının önerildiğinden yukarıda söz edilmişti; sönümün 0 alınabildiği durumlarda 3 katın %88, 5 katın ise %96 yalıtıma karşı geldiği tasarım eğrilerinden kolayca görülür. Tasarım eğrilerinden okunacak doğal frekansın Hz cinsinden, eşitlik 3'ten ya da $\omega_n = \sqrt{k/m}$ eşitliğinden



Şekil 9. Titreşim Yalıtımı İçin Tasarım Eğrileri (Sönümü Önemsiz Olmayan Yalıtıcı Destekler İçin Geçerlidir) [3]

den hesaplanacak doğal frekansın ise rad/s cinsinden olduğuna dikkat etmek gerekir.

Şekil 9'dan görüleceği gibi, doğru tasarımla teorik olarak çok büyük ölçüde titreşim yalıtımı sağlanabilir. Ancak, pratikte başka sınırlar da gündeme gelecektir. Örneğin, yalıtım yüzdesi 99,9 olursa, 1.000 N büyüklüğündeki dinamik kuvvetin yalnız binde biri, yani 1 N zemine iletilir. Fakat bu büyüklükte bir titreşim yalıtımı sağlayabilmek için sistemin doğal frekansının genellikle çok küçük olması gerekir. Bu doğal frekansı elde edebilmek için, yalıtıcı destekler üzerindeki makinanın kendi ağırlığı nedeniyle statik çökmesinin çok büyük olması gerekir ki bunu her makina için sağlayabilmek pratikte olanaksızdır.

5. SONUÇ

Bu yazının amacı, sismik yalıtım ve makinaların bağlandıkları zeminden yalıtımları konusunda genel bilgi yanında, titreşim yalıtımının temel ilkelerini tek serbestlik dereceli bir titreşim modeli kullanarak vermektir. Hareket yalıtımı, bir makina ya da donanımın, bağlandığı zeminin titreşimlerinden yalıtılmasıdır. Buna en tipik örnek; çok

hassas bir aygıtın, bağlandığı zeminin bina yakınındaki trafik gibi nedenlerle oluşacak titreşimlerden yalıtılması, ya da bina içindeki makina ve donanımın deprem sırasında oluşan bina titreşimlerinden yalıtılması, hatta binanın tümünün depremden yalıtılmasıdır. Kuvvet yalıtımı ise, makinaların çalışmaları sırasındaki titreşimleri nedeniyle oluşan dinamik kuvvetlerin, makinaların bağlandıkları zeminden yalıtılmalarıdır. Her iki titreşim yalıtımı probleminin matematiği, dolayısıyla titreşim yalıtıcı tasarım adımları aynıdır. Bu yazıda, titreşim yalıtımının temel ilkeleri kullanılarak basit bir titreşim yalıtıcının nasıl tasarlanacağı verilmiştir.

KAYNAKÇA

1. Nakamura, Y., Okada, K., Review on seismic isolation and response control methods of buildings in Japan, Geoenviron Disasters 6, 7, 2019. <https://doi.org/10.1186/s40677-019-0123-y>.
2. Kasalanati, A., Ng, T., Friskel, K., Seismic Isolation of Sensitive Equipment, 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, 9 – 13 Ocak 2017.
3. Irwin, J. D., Graf, E. R., Industrial Noise and Vibration Control, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1979.