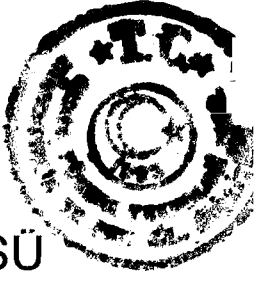


171068



T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SIVI TANKLARININ DEPREM
HAREKETLERİNİN SİSMİK TABAN
İZOLASYONU YÖNTEMİ İLE AZALTILMASI

Emre ABALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI BİLİMLERİ
ANABİLİM DALI

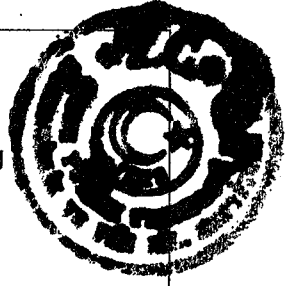
TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç.Dr. Eren UÇKAN

GEBZE
2005



**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU



Emre ABALI'nın tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20.06.2005 Tarih ve 2005/22 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Deprem ve Yapı Bilimleri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd.Doç.Dr. Eren UÇKAN

ÜYE

: Yrd.Doç.Dr. Bülent AKBAS

ÜYE

:Yrd.Doç.Dr. Bülent HEKİMBASI

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... Tarih ve sayılı kararı.



ÖZET

Tüm mühendislik yapıları ile birlikte sanayide yoğun olarak kullanılmakta olan sıvı tanklarıda karşılaşılabilecek depremlerden oluşacak hasarlar engellenecek biçimde tasarlanmalıdır. Çözüm yöntemleri ise, sistemin kendisinde sözkonusu deprem yüklerine karşı yeterli dayanım ve düktiliteyi oluşturmak veya gelen deprem yüklerini ve etkilerini azaltacak şekilde sismik izolasyon yöntemi uygulamak olabilir. Bu çalışma sıvı tanklarında, taban izolasyonu yönteminin uygulanması ile şiddetli bir yer hareketi esnasında sıvı tankında oluşacak deprem mukabelesinin azaltılmasını konu edinmiştir. Taban izolasyonu yöntemi, deprem esnasında en büyük deformasyonun izolasyon sisteminin içinde oluşmasını sağlayarak, temelden üst yapıya intikal ettirilen ivmenin azaltılmasını böylece deprem mukabelesine ait pik değerlerin minimize edilmesini amaçlamaktadır.

Öncelikle sistemin dinamik karakteristikleri, sıvı – yapı etkileşimini göz önüne alan yoğunlaştırılmış kütleli sistemden istifade edilerek, modal analiz yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Modal süperpozisyon ve buna bağlı olarak mukabele spektrumu yöntemi ile ilgili fiziksel büyüklüklerin pik mukabele değerlerinin hesabı için yöntemler sunulmuştur. Sonrasında 3D-BASIS bilgisayar programı kullanılarak zaman tanım alanında analiz yöntemi ile parametrik bir çalışma yapılmıştır. Bu parametrik çalışmada, tankın kendisine bağlı olarak narinlik etkisi ($S=H/R$) ve taban izolasyonuna bağlı olarak geniş ve narin tanklar için izolasyon periyodu (T_b) ve izolasyon sönüm oranı (ξ_b) değişim etkileri incelenmiştir. Bir önceki bölümde sunulan mukabele spektrumu yöntemi ile farklı parametreler için elde edilen büyüklükler, zaman tanım alanında çözüm yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. En son bölümde ise rijit tabana oturan sıvı tankları ile yine farklı parametreler altında narin ve geniş tankların deprem mukabeleleri mukayese edilmiştir. Bu çalışmada, özellikle yüksek izolasyon periyodu değerleri için geniş ve narin tankların tamamında taban kesme kuvveti değerlerinde ciddi azalmaların olduğu görülmüştür. Buna karşın geniş tanklarda izolasyondan ötürü çalkalanma deplasmanında artış olmaktadır. Viskoz sönümün ise, tek başına fazla etkili olmamakla birlikte artan izolasyon periyodu ile birlikte artmakta olan izolasyon deplasmanını azaltmak için yararlı olduğu görülmüştür.

SUMMARY

All engineering structures and as well liquid storage tanks which are often used in industry, shall be designed against the possible earthquakes damages. The solution method may be; either attaining sufficient strength and ductility of the system itself against earthquake loads, or using seismic isolation methods which reduces the effecting earthquake loads and effects. This study focuses on reducing of earthquake response of liquid storage tanks during a strong ground motion by using base isolation method. Base isolation method aims to minimize the peak earthquake responses by attaining the maximum displacement to occur in the isolation system and the acceleration transmitted from the base to the structure is reduced.

Firstly, the dynamic characteristics of the system is obtained by modal analyses using the lumped mass procedure which takes the liquid-structure interaction into account. Methods to calculate the peak response values are presented using modal superposition and related response spectrum methods. Afterwards, 3D-BASIS software is used to make a parametric study in time based analyses method. In this parametric study; tank aspect ratio ($S=H/R$) which is tank's own characteristic and the isolation period (T_b), and isolation damping ratio (ξ_b) of broad and slender tanks are investigated related to base isolation. The values obtained for different parameters using the response spectrum method presented in the previous section are compared with the values obtained from time based solution methods. In last section, earthquake responses of broad and slender liquid storage tanks are compared under different parameters which are stated on rigid base. In this study; it is observed that the base shear of broad and slender tanks are significantly reduced especially for high isolation period values. However, at broad tanks sloshing displacement is increased because of isolation. Viscous damping is not significant by itself, yet it is beneficial at reducing isolation displacement with increasing isolation periods.

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanmasında bana her türlü konuda destek olan, anlayış ve yol gösteren ve yüksek lisans eğitimim boyunca üzerimde büyük emeği olan Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Eren UÇKAN'a ve 3D-BASIS programı kullanımı konusunda sorularımı her fırsatta yanıtlayan Catholic University of America öğretim görevlilerinden Sayın Doç. Dr. Panagiotis TSOPELAS'a ve beni büyüten, yetiştiren, her zaman yanımda ve destek olan sevgili aileme katkılarından dolayı teşekkürlerimi bildiririm.

Emre ABALI



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1.GİRİŞ	1
2.TABAN İZOLASYONLU SIVI TANKININ DİNAMİK ANALİZİ	3
2.1. Sıvı Tankının Yapısal Modeli	3
2.2. Sıvı Tankına Ait Denge Denklemlerinin Oluşturulması	6
2.3. Modal Analiz Yönteminin Oluşturulması	9
2.4. Modal Parametrelerin Hesabı	11
2.5. Mukabele Spektrumu Yönteminin Geliştirilmesi	13
2.6. Mukabele Spektrumu Yönteminin Sıvı Tanklarının Deprem Davranışının Hesabında Kullanılması	14
3. PARAMETRİK ÇALIŞMA	15
3.1. Taban İzolasyonlu Tanklarda Narinlik Oranı Etkisi	16
3.1.1. Narinlik Oranı Değişiminin Modal Parametrelere Etkisi	16
3.1.2. Narinlik Oranı Değişiminin Deprem Davranışına Etkisi	19
3.2. Taban İzolasyonlu Tanklarda İzolasyon Periyodu Etkisi	21
3.2.1. İzolasyon Periyodu Değişiminin Modal Parametrelere Etkisi	21
3.2.2. İzolasyon Periyodu Değişiminin Deprem Davranışına Etkisi	27
3.3. Taban İzolasyonlu Tanklarda İzolasyon Sönümü Etkisi	30
3.3.1. İzolasyon Sönüm Oranı Değişiminin Modal Parametrelere Etkisi	30
3.3.2. İzolasyon Sönüm Oranı Değişiminin Deprem Davranışına Etkisi	36
3.4. Mukabele Spektrumu Yöntemi ile Zaman Tanım Alanında Çözüm Yöntemine Ait Sonuçların Karşılaştırılması	39

3.5. Taban İzolasyonlu Sistemler ile Rijit Tabana Oturan Sistemlerin Deprem Mukabelelerinin Karşılaştırılması	41
4. SONUÇLAR	43
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ	46



SİMGELER VE KISALTMALAR

$[C]$	: Sönüm Matrisi
C_b	: İzolasyon Sönümü (ton.rad/sn)
C_c	: Konvektif Sönüm (ton.rad/sn)
C_i	: İmpulsif Sönüm (ton.rad/sn)
C_n	: n. Moda ait Modal Sönüm (ton.rad/sn)
E	: Tank Duvarı Elastisite Modülü (Mpa)
$F_b(t)$	: Taban Kesme Kuvveti (kN)
$\varnothing_n$	: n. Moda ait Mod Vektörü
$[\emptyset]$	: Modal Matris
Γ_n	: n. Moda ait Modal Katılım Oranı
H	: Tank Yüksekliği (m)
I_n	: Spektral Yer Değiştirme (cm)
$[K]$	: Rijitlik Matrisi
K_b	: İzolasyon Rijitliği (kN/m)
K_c	: Konvektif Rijitlik (kN/m)
K_i	: İmpulsif Rijitlik (kN/m)
K_n	: n. Moda ait Rijitlik (kN/m)
ξ_n	: n. Moda ait Modal Sönüm Oranı
$[M]$	: Kütle Matrisi
m	: Tankın Toplam Kütlesi (ton)
M	: Tankın Efektif Kütlesi (ton)
m_c	: Konvektif Kütle (ton)
m_i	: İmpulsif Kütle (ton)
$\tilde{M}_n$	: n. Moda ait Modal Kütle (ton)
M_r	: Rijit Kütle (ton)
R	: Tank Yarıçapı (m)
$\{r\}$	: Dönüşüm Vektörü
ρ_s	: Tank Duvarının Yoğunluğu (kg/m ³)
ρ_w	: Tank İçerisindeki Sıvının Yoğunluğu (kg/m ³)
$\{q\}$	: Modal Deplasman Vektörü
S	: Tank Narinlik Oranı



$S_d(\omega_n, \xi_n)$	: Spektral Yer Değiştirme (cm)
$S_v(\omega_n, \xi_n)$	: Spektral Hız (cm/sn)
T_b	: İzolasyon Periyodu (sn)
u_b	: İzolasyon Serbestlik Derecesinin Yer Değiştirme Bileşeni (cm)
u_c	: Konvektif Serbestlik Derecesinin Yer Değiştirme Bileşeni (cm)
$u_g(t)$	: Zamana Bağlı Yer Hareketi Bileşeni (cm)
u_i	: İmpulsif Serbestlik Derecesinin Yer Değiştirme Bileşeni (cm)
X_b	: İzolasyon Serbestlik Derecesinin Yere Göre Yer Değiştirme Bileşeni (cm)
X_c	: Konvektif Serbestlik Derecesinin Yere Göre Yer Değiştirme Bileşeni (cm)
$X_g(t)$	: Zamana Bağlı Yer Hareketi Bileşeni (cm)
X_i	: İmpulsif Serbestlik Derecesinin Yere Göre Yer Değiştirme Bileşeni (cm)
ω_b	: İzolasyon Açısal Frekansı (rad/sn)
ω_c	: Çalkalanma Açısal Frekansı (rad/sn)
ω_i	: İmpulsif Açısal Frekans (rad/sn)
ω_{dn}	: n. Moda ait Sönümlü Açısal Frekans (rad/sn)
ω_n	: n. Moda ait Açısal Frekans (rad/sn)

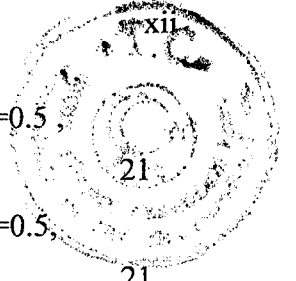
ŞEKİLLER DİZİNİ



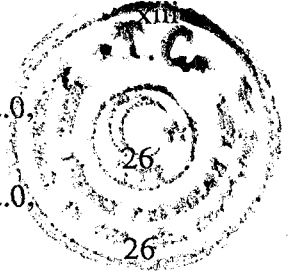
Şekil

Sayfa

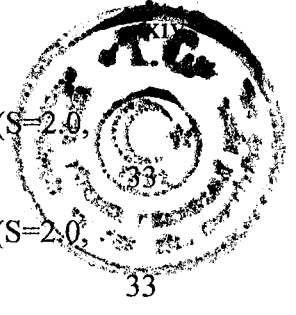
2.1. Taban izolasyonlu sıvı tankı modeli	4
2.2. Taban izolasyonlu sıvı tankının matematik modeli	5
2.3. Taban izolasyonlu sistemin mod şekilleri ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn., $\xi_b=0.10$)	12
3.1. I-ELC 180 %10 sönümlü yerdeğiştirme spektrumu eğrisi	15
3.2. Narinlik oranı değişiminin 1. mod açısal frekansına etkisi ($T_b=2.0$ sn., $\xi_b=0.10$)	16
3.3. Narinlik oranı değişiminin 2. mod açısal frekansına etkisi ($T_b=2.0$ sn., $\xi_b=0.10$)	16
3.4. Narinlik oranı değişiminin 3. mod açısal frekansına etkisi ($T_b=2.0$ sn., $\xi_b=0.10$)	16
3.5. Narinlik oranı değişiminin 1. mod katılım oranına etkisi ($T_b=2.0$ sn., $\xi_b=0.10$)	17
3.6. Narinlik oranı değişiminin 2. mod katılım oranına etkisi ($T_b=2.0$ sn., $\xi_b=0.10$)	17
3.7. Narinlik oranı değişiminin 3. mod katılım oranına etkisi ($T_b=2.0$ sn., $\xi_b=0.10$)	17
3.8. Narinlik oranı değişiminin 1. mod sönüm oranına etkisi ($T_b=2.0$ sn., $\xi_b=0.10$)	18
3.9. Narinlik oranı değişiminin 2. mod sönüm oranına etkisi ($T_b=2.0$ sn., $\xi_b=0.10$)	18
3.10. Narinlik oranı değişiminin 3. mod sönüm oranına etkisi ($T_b=2.0$ sn., $\xi_b=0.10$)	18
3.11. Narinlik oranı değişiminin konvektif deplasmana etkisi ($T_b=2.0$ sn., $\xi_b=0.10$)	19
3.12. Narinlik oranı değişiminin izolasyon deplasmanına etkisi ($T_b=2.0$ sn., $\xi_b=0.10$)	19
3.13. Narinlik oranı değişiminin taban kesme kuvveti – tank ağırlığı oranına etkisi ($T_b=2.0$ sn., $\xi_b=0.10$)	19



3.14. İzolasyon periyodu değişiminin 1. mod açısal frekansına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$)	21
3.15. İzolasyon periyodu değişiminin 2. mod açısal frekansına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$)	21
3.16. İzolasyon periyodu değişiminin 3. mod açısal frekansına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$)	21
3.17. İzolasyon periyodu değişiminin 1. mod açısal frekansına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$)	22
3.18. İzolasyon periyodu değişiminin 2. mod açısal frekansına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$)	22
3.19. İzolasyon periyodu değişiminin 3. mod açısal frekansına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$)	22
3.20. İzolasyon periyodu değişiminin 1. mod katılım oranına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$)	23
3.21. İzolasyon periyodu değişiminin 2. mod katılım oranına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$)	23
3.22.. İzolasyon periyodu değişiminin 3. mod katılım oranına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$)	23
3.23. İzolasyon periyodu değişiminin 1. mod katılım oranına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$)	24
3.24. İzolasyon periyodu değişiminin 2. mod katılım oranına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$)	24
3.25. İzolasyon periyodu değişiminin 3. mod katılım oranına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$)	24
3.26. İzolasyon periyodu değişiminin 1. mod sönüm oranına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$)	25
3.27. İzolasyon periyodu değişiminin 2. mod sönüm oranına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$)	25
3.28. İzolasyon periyodu değişiminin 3. mod sönüm oranına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$)	25
3.29. İzolasyon periyodu değişiminin 1. mod sönüm oranına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$)	26



- 3.30. İzolasyon periyodu değişiminin 2. mod sönüm oranına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$) 26
- 3.31. İzolasyon periyodu değişiminin 3. mod sönüm oranına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$) 26
- 3.32. İzolasyon periyodu değişiminin konvektif deplasmana etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$) 27
- 3.33. İzolasyon periyodu değişiminin izolasyon deplasmanına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$) 27
- 3.34. İzolasyon periyodu değişiminin taban kesme kuvveti – tank ağırlığı oranına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$) 27
- 3.35. İzolasyon periyodu değişiminin konvektif deplasmana etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$) 28
- 3.36. İzolasyon periyodu değişiminin izolasyon deplasmanına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$) 28
- 3.37. İzolasyon periyodu değişiminin taban kesme kuvveti – tank ağırlığı oranına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$) 28
- 3.38. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 1. mod açısal frekansına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.) 30
- 3.39. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 2. mod açısal frekansına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.) 30
- 3.40. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 3. mod açısal frekansına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.) 30
- 3.41. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 1. mod açısal frekansına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.) 31
- 3.42. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 2. mod açısal frekansına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.) 31
- 3.43.. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 3. mod açısal frekansına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.) 31
- 3.44. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 1. mod katılım oranına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.) 32
- 3.45. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 2. mod katılım oranına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.) 32
- 3.46. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 3. mod katılım oranına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.) 32



- 3.47. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 1. mod katılım oranına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.) 33
- 3.48. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 2. mod katılım oranına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.) 33
- 3.49. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 3. mod katılım oranına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.) 33
- 3.50. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 1. mod sönüm oranına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.) 34
- 3.51. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 2. mod sönüm oranına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.) 34
- 3.52. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 3. mod sönüm oranına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.) 34
- 3.53. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 1. mod sönüm oranına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.) 35
- 3.54. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 2. mod sönüm oranına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.) 35
- 3.55. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 3. mod sönüm oranına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.) 35
- 3.56. İzolasyon sönüm oranı değişiminin konvektif deplasmana etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.) 36
- 3.57. İzolasyon sönüm oranı değişiminin izolasyon deplasmanına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.) 36
- 3.58. İzolasyon sönüm oranı değişiminin taban kesme kuvveti – tank ağırlığı oranına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.) 36
- 3.59. İzolasyon sönüm oranı değişiminin konvektif deplasmana etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.) 37
- 3.60. İzolasyon sönüm oranı değişiminin izolasyon deplasmanına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.) 37
- 3.61. İzolasyon sönüm oranı değişiminin taban kesme kuvveti – tank ağırlığı oranına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.) 37

ÇİZELGELER DİZİNİ



Cizelge

3.1. Farklı izolasyon periyodları için zaman tanım alanında hesap ve mukabele spektrumu yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması ($\xi_b=0.1$)	39
3.2. Farklı narinlik oranları için zaman tanım alanında hesap ve mukabele spektrumu yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması ($T_b=2.0$ sn., $\xi_b=0.1$)	40
3.3. Farklı izolasyon periyodları ve sönümleri için taban izolasyonlu tanklar ile rijit tabana oturan tankların karşılaştırılması	41
3.4. Farklı narinlik oranları ve izolasyon sönümleri için taban izolasyonlu tanklar ile rijit tabana oturan tankların karşılaştırılması ($T_b=2.0$ sn.)	42

1. GİRİŞ



Sıvı tankları, petrokimya sanayi, nükleer enerji tesisleri ve endüstrideki geniş kullanım alanları nedeniyle ciddi önemi olan stratejik yapılardır. Önceki depremlerin bize gösterdiği, sıvı tanklarında deprem yüklemesinden kaynaklanabilecek hasar türlerinin, taban plakasının deformasyonu, tank gövdesinde basınç gerilmelerinin artması neticesinde tank gövdesinin burkulması, temeli üzerine sabitlenen tanklarda ise ankraj sisteminin hasar görmesi olarak sıralanabilir.

1964 Alaska depreminde sıvı dolu tankların büyük ölçüde hasara uğramasından sonra sıvı tanklarının dinamik karakteristiklerinin araştırılması konusunda önemli çaba sarfedilmiştir.

Eğer tank tamamen boşsa veya tamamen dolu olup üzeri kapalıysa, sistem tek bir kütleyle ifade edilebilir. Genelde rastlanan şekliyle tank kısmen dolu olup serbest bir sıvı yüzeyi söz konusu ise dinamik etki esnasında sıvı yüzeyinde çalkalanma meydana gelecektir. Sıvı tanklarının dinamik davranışı, mühendislik tasarımı açısından incelendiğinde sıvı-yapı etkileşimi problemi başta olmak üzere oldukça kompleks bir konudur. Bu problemi basite indirgeyebilmek için yapılan çalışmalarda rijid duvarlı bir tankın dinamik davranışını yansıtan yoğunlaştırılmış kütleli sistem geliştirilmiştir [Housner, 1963], [Rosenblueth ve Newmark, 1971]. Bu yıllarda, sayısal tekniklerle birlikte bilgisayarlardaki gelişmeler çözümlerin sayısını ve hassasiyetini arttırmıştır. Bu çalışmaların bir çoğu sıvı tanklarındaki doğal frekansların ve dinamik modların hesabı ile ilgilidir. Sonrasında bu yaklaşım elastik duvarlı tanklar için yenilenmiştir [Haroun, 1983].

Sıvı tanklarının deprem yüklerine karşı tasarımında alışlageldik yöntem tankın kendisinde tasarım deprem yüklerine karşı yeterli dayanım ve düktilitenin oluşturulmasıdır. Bu tasarımda kullanılan yapı elemanlarının deprem yüklerine karşı dayanımı sağladığı ve bunun yanında gerekli sismik enerji sönümünün bu elemanlar sayesinde gerçekleştirildiği kabul edilir.

Alternatif bir teknik ise, tank ile oturduğu temelinin arasında taban izolasyonu yöntemi uygulanmasıdır. Taban izolasyonu yönteminin başlıca avantajı, tankın temel titreşim periyodunu yer hareketinin hakim titreşim periyodundan uzaklaştırması ve bu şekilde yapının deprem mukabelesinin azaltılmasıdır. Bunun yanında üst yapının sağladığı sönüm etkisi haricinde sisteme ek bir sismik enerji sönümü sağlayarak sonuçta yapıya intikal edilen ivmenin azaltılması amaçlanmaktadır. Geçmişte taban izolasyonu yöntemleri binalarda ve köprülerde başarıyla uygulanmış olmakla birlikte sıvı tanklarında taban izolasyonu yönteminin uygulanması halen oldukça yeni ve üzerinde araştırma yapılan bir konudur. Yapılan bir araştırmada taban izolasyonlu bir sistem rijit tabana oturan bir sistemle karşılaştırılmış ve izolasyon uygulanması halinde konvektif yerdeğiştirme bileşeninde bir miktar artma olduğu görülmüştür [Chalhoub ve Kelly, 1990]. İlerleyen yıllarda yapılan deneysel bir araştırmada ise taban izolasyonu kullanılması halinde sıvı tankına gelen sismik yüklerde ciddi bir azalma olduğu kaydedilmiştir [Kim ve Lee, 1995]. Yine son zamanlarda yapılan araştırmalarda ise konvektif yerdeğiştirme bileşeninde ciddi bir artış olmaksızın sıvı tanklarına taban izolasyonu uygulanabileceği görülmüştür [Malhotra, 1997].

Yukarıda adı geçen tüm bu bilimsel araştırmalar taban izolasyonunun sıvı tanklarında kullanılmasının faydalı olduğunu göstermektedir. Fakat sıvı tankı ve taban izolasyonu ile ilgili parametrelerin değişiminin deprem mukabelesi üzerindeki etkilerinin izolasyon yönteminin uygulanma şekli açısından, gerçekçi sonuç vermesi ve pratik uygulama sahası olabilmesi açısından modal analiz yöntemi ve buna bağlı olarak mukabele spektrumu yönteminin geliştirilmesi ise mühendislik tasarımı açısından önem taşıyan inceleme alanlarıdır.

Bu çalışmada sıvı tanklarında taban izolasyonu yönteminin kullanılmasında sıvı tankının kendisine bağlı olarak narinlik etkisi, izolasyona bağlı olarak izolasyon periyodunun ve izolasyon sönümünün etkileri, 3D-BASIS programı yardımıyla, parametrik çalışma ile incelenerek kendi arasında ve bunun yanında taban izolasyonsuz (rijit tabana oturan) sıvı tanklarındaki deprem mukabeleleri ile mukayese edilerek taban izolasyonunun faydaları ve kullanılabilirliği irdelenmiştir. [Housner, 1963] ve [Haroun, 1983]'ün yoğunlaştırılmış kütleli modeli kullanılarak modal analiz yöntemi ve buradan yola çıkılarak mukabele spektrumu yöntemi geliştirilmiş olup parametrik çalışmadaki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

2. TABAN İZOLASYONLU SIVI TANKININ DİNAMİK ANALİZİ



2.1. Sıvı Tankının Yapısal Modeli

Sözkonusu taban izolasyonu uygulanmış sıvı tankına ait sistemin dinamik modeli Şekil 2.1.'de gösterildiği şekilde Haroun ve Housner'in modelinden yola çıkılarak oluşturulmuştur. Şekilde görüldüğü üzere taban izolasyonu, sıvı tankı ile temeli arasında oluşturulmuştur.

Tüm bu hesaplamalar sırasında tankın içerisinde taşıdığı sıvının

- 1) Viskoz olmayan sıvı
- 2) Sıkıştırılamayan sıvı
- 3) Küçük yerdeğişirmeler hızlar ve eğimlere sahip
- 4) Çevrintisiz akım alanı
- 5) Homojen sıvı

olduğu varsayımları altında çözüm aranır.

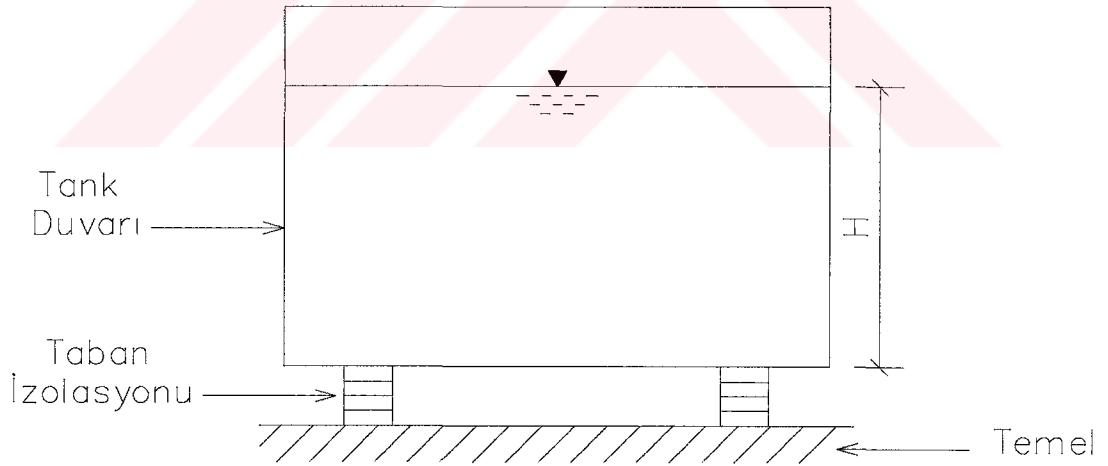
Sismik etki esnasında tankın içinde titreşim hareketi yapan sıvının üç bileşenden oluştuğu kabul edilir. [Haroun, 1983]

Bunlar,

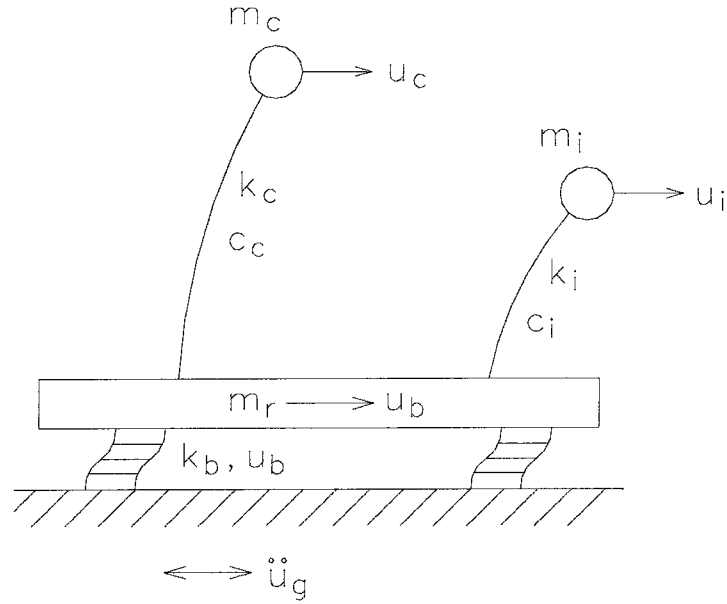
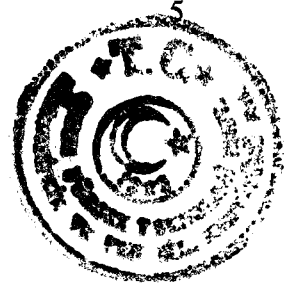
- 1) Konvektif Bileşen : Tank yüksekliğinin en üstünde yer alan ve çalkalanma hareketi yapan sıvı kütlesidir.
- 2) İmpulsif Bileşen : Tank yüksekliğinin orta kısmında yer alan ve tank duvarıyla etkileşim halinde bulunan sıvı kütlesidir.
- 3) Rijit Bileşen : Tank yüksekliğinin en alt kısmında bulunan ve tankın kendisiyle birlikte rijit halde kalan sıvı kütlesidir.

Bu titreşim hareketinde konvektif ve impulsif titreşimlerin farklı modları mevcut olup, tank mukabelesinin hesabında [Kim ve Lee, 1995]'nin araştırmalarında olduğu gibi konvektif ve impulsif titreşimlerin yalnızca birinci titreşim modları hesaba katılmıştır.

Konvektif, impulsif ve rijit kütleler sırasıyla, m_c , m_i ve m_r olarak, Konvektif ve İmpulsif serbestlik derecelerindeki tank gövdesine bağlı oldukları kabul edilen eşdeğer yay rijitlikleri ise yine sırasıyla $k_c(=m_c\omega_c^2)$, $k_i(=m_i\omega_i^2)$ olarak gösterilmiştir. ω_c ve ω_i parametreleri ise sırasıyla konvektif ve impulsif sıvı kütlelerine ait olan açısal frekanslarını ifade etmektedirler. Modelde taban izolasyonlu sistemin her deprem yüklemesi yönünde toplamda üç serbestlik derecesine sahip bir sistem olduğu görülmektedir. u_c , u_i ve u_b sırasıyla konvektif, impulsif ve izolasyon serbestlik derecelerindeki deplasmanları ifade etmektedirler (Şekil 2.2). Sıvı tankının zati kütlesi, toplam kütlenin %5'inden daha az olmasından ötürü bu çalışmada gözardı edilmiştir. Geometrik parametrelerden, H tank yüksekliğini, R tank yarıçapını, t_h ise tank duvarının ortalama kalınlığını ifade etmektedir.



Şekil 2.1. Taban izolasyonlu sıvı tankı modeli.



Şekil 2.2. Taban izolasyonlu sıvı tankının matematik modeli.

Serbestlik derecelerine ait kütleler ve açısal frekanslar aşağıda ifade edilmiştir.
[Haroun, 1983]

$$m = \pi \times R^2 \times H \times \rho_w \quad (2.1.)$$

$$m_c = m \times \gamma_c \quad (2.2.)$$

$$\omega_i = \frac{P}{H} \times \sqrt{\frac{E}{\rho_s}} \quad (2.3.)$$

$$m_i = m \times \gamma_i \quad (2.4.)$$

$$m_r = m \times \gamma_r \quad (2.5.)$$

$$\omega_c = \sqrt{1.84 \times \left(\frac{g}{R}\right) \times \tanh(1.84S)} \quad (2.6.)$$

γ_c , γ_i ve γ_r sırasıyla konvektif, impulsif ve rijit kütlelerin toplam kütleye olan oranlarını göstermektedir. ρ_w tankın içerisinde bulunan sıvının yoğunluğunu göstermektedir. E, tank duvarının elastisite modülü, ρ_s ise yoğunluğudur. $S = H/R$ tankın narinlik oranıdır, g yerçekimi ivmesi olup, P ise boyutsuz bir büyüklüktür. γ_c , γ_i , γ_r ve P büyüklükleri narinlik oranı S'nin ve tank duvarı kalınlığının, tankın

yarıçapına olan oranı t_b/R 'nin fonksiyonudur. Aşağıda, t_b/R 'nin 0.100'den 0.200'e kadar değiştiğinde, $\gamma_c, \gamma_i, \gamma_r, P$ durumunda bu büyüklüklerin hesabı için bir matris ifadesi verilmiştir. [Hacıoğlu, 2010]



$$\begin{bmatrix} \gamma_c \\ \gamma_i \\ \gamma_r \\ P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.01327 & -0.8757 & 0.35708 & 0.06692 & 0.00439 \\ -0.15467 & 1.21716 & -0.62839 & 0.14434 & -0.0125 \\ -0.01599 & 0.86356 & -0.30941 & 0.04083 & 0 \\ 0.037085 & 0.084302 & -0.05088 & 0.012523 & -0.0012 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ S \\ S^2 \\ S^3 \\ S^4 \end{Bmatrix} \quad (2.7.)$$

Bu çalışmada izolasyonun düşey doğrultuda sonsuz rijit olduğu, yatay doğrultuda ise sağladığı şekil değiştirme ve sönüm yeteneği sayesinde sistemde taban izolasyonu-nun sağlandığı kabul edilmiştir. İzolasyon yatay ötelenme rijitliği K_b , viskoz sönümü C_b 'dir. İzolasyon periyodu sıvı tankının kütesine bağlı olarak aşağıda ifade edildiği şekilde hesaplanmıştır. T_b izolasyon titreşim periyodunu, ω_b izolasyon açısal frekansını, M ise tüm serbestlik derecelerindeki sıvı kütlelerinin toplamını ifade eden toplam efektif kütledir.

$$T_b = 2\pi \times \sqrt{\frac{M}{K_b}} \quad (2.8.)$$

$$\omega_b = \frac{2\pi}{T_b} \quad (2.9.)$$

$$M = m_c + m_i + m_r \quad (2.10.)$$

2.2. Sıvı Tankına Ait Denge Denklemlerinin Oluşturulması

Konvektif, İmpulsif ve İzolasyon serbestlik derecelerindeki, kütle, sönüm ve rijitliklere bağlı denge şartları yazılarak sıvı tankının hareket denklemlerinin oluşturulmasında kullanılır. x_c ve x_i sırasıyla konvektif ve impulsif kütlelerin izolasyona göre yer değiştirmesini, x_b ise izolasyon kütesinin yer hareketine göre yer değiştirmesini ifade etmektedir. $x_g(t)$ zamana bağlı yer hareketi bileşenidir.

$$u_c = x_c + u_b = x_c + x_b + u_g(t) = x_c + x_b + x_g(t) \quad (2.11)$$

$$u_i = x_i + u_b = x_i + x_b + u_g(t) = x_i + x_b + x_g(t) \quad (2.12.)$$

$$u_b = x_b + u_g = x_b + x_g(t) \quad (2.13)$$

Konvektif Serbestlik derecesi için denge şartı (2.14.) yazılır ve (2.11.) ve (2.13.) ifadeleri yerine konursa,

$$m_c \ddot{u}_c + c_c \dot{u}_c + k_c u_c - c_c \dot{u}_b - k_c u_b = 0 \quad (2.14)$$

$$m_c \{\ddot{x}_c + \ddot{u}_b\} + c_c \{\dot{x}_c + \dot{u}_b\} + k_c \{x_c + u_b\} - c_c \dot{u}_b - k_c u_b = 0 \quad (2.15)$$

$$m_c \ddot{x}_c + m_c \{\ddot{x}_b + \ddot{x}_g(t)\} + c_c \dot{x}_c + k_c x_c = 0 \quad (2.16)$$

$$m_c \ddot{x}_c + m_c \ddot{x}_b + c_c \dot{x}_c + k_c x_c = -m_c \ddot{x}_g(t) \quad (2.17)$$

ifadesi elde edilir.

Benzer şekilde İmpulsif serbestlik derecesi için denge şartı yazılır ve (2.12) ve (2.13) ifadeleri yerine konursa,

$$m_i \ddot{u}_i + c_i \dot{u}_i + k_i u_i - c_i \dot{u}_b - k_i u_b = 0 \quad (2.18.)$$

$$m_i \{\ddot{x}_i + \ddot{u}_b\} + c_i \{\dot{x}_i + \dot{u}_b\} + k_i \{x_i + u_b\} - c_i \dot{u}_b - k_i u_b = 0 \quad (2.19.)$$

$$m_i \ddot{x}_i + m_i \{\ddot{x}_b + \ddot{x}_g(t)\} + c_i \dot{x}_i + k_i x_i = 0 \quad (2.20)$$

$$m_i \ddot{x}_i + m_i \ddot{x}_b + c_i \dot{x}_i + k_i x_i = -m_i \ddot{x}_g(t) \quad (2.21)$$

ifadesi elde edilir.

İzolasyon serbestlik derecesinde yazılan denge denkleminde, denklemin sağ tarafı taban kesme kuvvetine eşittir. (2.22) Taban kesme kuvveti ise atalet kuvvetlerin toplamı olarak ifade edilmiştir. (2.23)

$$m_b \ddot{x}_b + c_b \dot{x}_b + k_b x_b = -F_b(t) \quad (2.22)$$

$$F_b(t) = m_c \ddot{u}_c + m_i \ddot{u}_i + m_b \ddot{x}_g(t) \quad (2.23)$$

$$m_b \ddot{x}_b + c_b \dot{x}_b + k_b x_b = -\{m_c \ddot{u}_c + m_i \ddot{u}_i + m_b \ddot{x}_g(t)\} \quad (2.24)$$

$$m_b \ddot{x}_b + c_b \dot{x}_b + k_b x_b + m_c \{\ddot{x}_c + \ddot{x}_b + \ddot{x}_g(t)\} + m_i \{\ddot{x}_i + \ddot{x}_b + \ddot{x}_g(t)\} + m_b \ddot{x}_g(t) = 0 \quad (2.25)$$

$$m_c \ddot{x}_c + m_i \ddot{x}_i + M \ddot{x}_b + c_b \dot{x}_b + k_b x_b = -M \ddot{x}_g(t) \quad (2.26)$$

ifadesi elde edilir.

Sistemin temel hareket denklemi aşağıdaki şekliyle matris formunda ifade edilebilir.

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -[M]\{r\}\ddot{x}_g(t) \quad (2.27)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} m_c & 0 & m_c \\ 0 & m_i & m_i \\ m_c & m_i & M \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_c & 0 & 0 \\ 0 & c_i & 0 \\ 0 & 0 & c_b \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_c & 0 & 0 \\ 0 & k_i & 0 \\ 0 & 0 & k_b \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

$$\{x\} = \begin{Bmatrix} x_c \\ x_i \\ x_b \end{Bmatrix} \quad (2.31)$$

$$\{r\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (2.32)$$

(2.17.), (2.21.) ve (2.25.) ifadeleri düzenlenerek (2.26.) ifadesinde yerine konularak, sistemin temel hareket denkleminde, [M] kütle, [C] sönüm ve [K] rijitlik matrisleri ile r dönüşüm vektörü yukarıda ifade edildiği şekliyle elde edilir.

2.3. Modal Analiz Yönteminin Oluşturulması

Modal analiz yöntemi, yapıların deprem mukabelesinin hesabında geniş alanlı kullanıma sahip olmakla beraber, yöntem, deprem mukabelesinin analizinde doğrudan doğruya fiziksel bir yorum sunmaktadır, bir özdeğer probleminin çözümünü gerektiren, üstün bir matematiksel analiz yöntemidir.

Yer değiştirme vektörü $\{x\}=[\Phi] \{q\}$, Modal matris ile modal deplasman vektörünün çarpımıdır. [Chopra, 1994]

$$\{q\} = \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{Bmatrix} \quad (2.33)$$

Modal analiz yöntemi ile özdeğer problemi hesaplanarak her mod için, mod vektörleri hesaplanabilir.

$$\omega_n^2 [M] \phi_n = [K] \phi_n \quad (2.34)$$

ω_n , taban izolasyonlu tank için n.inci moddaki açısal frekanstır. Bu değerler hesaplandıktan sonra hareket denklemi modal deplasman vektörüne bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\ddot{q}_n + 2\xi_n \omega_n \dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = -\Gamma_n \ddot{X}_g(t) \quad (2.35) \quad (n = 1 - 3)$$

ξ_n , n.inci moddaki sönüm oranını, Γ_n ise yine n.inci moddaki modal katılım oranıdır.

$$\xi_n = \frac{c_n}{2M_n \omega_n} \quad (2.36)$$

$$\Gamma_n = \frac{L_n}{M_n} \quad (2.37)$$

$$M_n = \phi_n^T [M] \phi_n \quad (2.38)$$

$$C_n = \phi_n^T [C] \phi_n \quad (2.39)$$

$$K_n = \phi_n^T [K] \phi_n \quad (2.40)$$

$$L_n = \phi_n^T [M] \{r\} \quad (2.41)$$

Modal deplasman duhamel integrali kullanılarak aşağıdaki hale getirilir.

$$q_n = -\Gamma_n \int_0^t \ddot{X}_g(\tau) \left\{ \frac{e^{\xi_n \omega_n (t-\tau)}}{\omega_{dn}} \right\} \sin \{ \omega_{dn} (t-\tau) \} d\tau \quad (2.42)$$

$$\omega_{dn} = \omega_n \sqrt{1 - \xi_n^2} \quad (2.43) \quad \text{n.inci moda ait sönümlü açısal frekanstır.}$$

Taban izolasyonlu bir sıvı tankı için incelenmesi gereken parametreler, taban kesme kuvveti (F_b), konvektif yer değiştirme (x_c) ve izolasyon yer değiştirmesidir (x_b). Taban kesme kuvveti, tanka etkiyen deprem yükü ile doğrudan orantılı olması nedeniyle, tankın deprem mukabelesini yansıtan en önemli parametredir. Konvektif ve İzolasyon yerdeğiştirmeleri ise tankın mühendislik tasarımı açısından önemlidir. Taban kesme kuvveti (F_b), konvektif yerdeğiştirme (x_c), izolasyon yerdeğiştirmesi (x_b) yapılan modal analiz sonucunda aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$F_b = \sum_{n=1}^3 (c_b \dot{q}_n + k_b q_n) \phi_n^3 \quad (2.44)$$

$$x_b = \sum_{n=1}^3 \phi_n^3 q_n \quad (2.45)$$

$$x_c = \sum_{n=1}^3 \phi_n^1 q_n \quad (2.46)$$

ϕ_n^j n.inci modal vektöre ait j.inci elemandır.



2.4. Modal Parametrelerin Hesabı

Elde edilecek modal parametreler, mukabele spektrumu yöntemi kullanılarak sıvı tankının deprem mukabelesinin tahmininde kullanılabilir. Sıvı tankının serbest titreşimini ifade eden denklem,

$$\omega_n^2 [M] \phi_n = [K] \phi_n \quad (2.47)$$

$$\{\omega_n^2 [M] - [K]\} \{\phi_n\} = \{0\} \quad (2.48)$$

şeklinde düzenlenerek bir özdeğer problemi haline getirilir. Bu özdeğer probleminin çözümünden taban izolasyonlu sıvı tankının serbest titreşimine ait açısal frekanslar elde edilir.

$$\omega_n^6 \{\gamma_{mc} + \gamma_{mi} - 1\} + \omega_n^4 \begin{Bmatrix} \omega_c^2 \\ \omega_i^2 \\ \omega_b^2 + \omega_i^2 + \omega_c^2 \end{Bmatrix}^T \begin{Bmatrix} -\gamma_{mi} \\ -\gamma_{mc} \\ 1 \end{Bmatrix} - \omega_n^2 \begin{Bmatrix} \omega_c^2 \\ \omega_b^2 \\ \omega_i^2 \end{Bmatrix}^T \begin{Bmatrix} \omega_i^2 \\ \omega_c^2 \\ \omega_b^2 \end{Bmatrix} + \omega_c^2 \omega_i^2 \omega_b^2 = 0 \quad (2.49)$$

Sıvı tankının serbest titreşimine ait açısal frekanslar aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\gamma_{mc} = (m_c / M) \quad (2.50)$$

$$\gamma_{mi} = (m_i / M) \quad (2.51)$$

$$\varepsilon_c = (\omega_c / \omega_b)^2 \quad (2.52)$$

$$\varepsilon_i = (\omega_b / \omega_i)^2 \quad (2.53)$$

$$\bar{\varepsilon}_i = \varepsilon_i \frac{\{1 + \gamma_{mc} \varepsilon_c\}}{\{1 - \gamma_{mc}\}} \quad (2.54)$$

$$\bar{\gamma}_i = \gamma_{mi} \frac{\{1 + \gamma_{mc} \varepsilon_c\}}{\{1 - \gamma_{mc}\}} \quad (2.55)$$



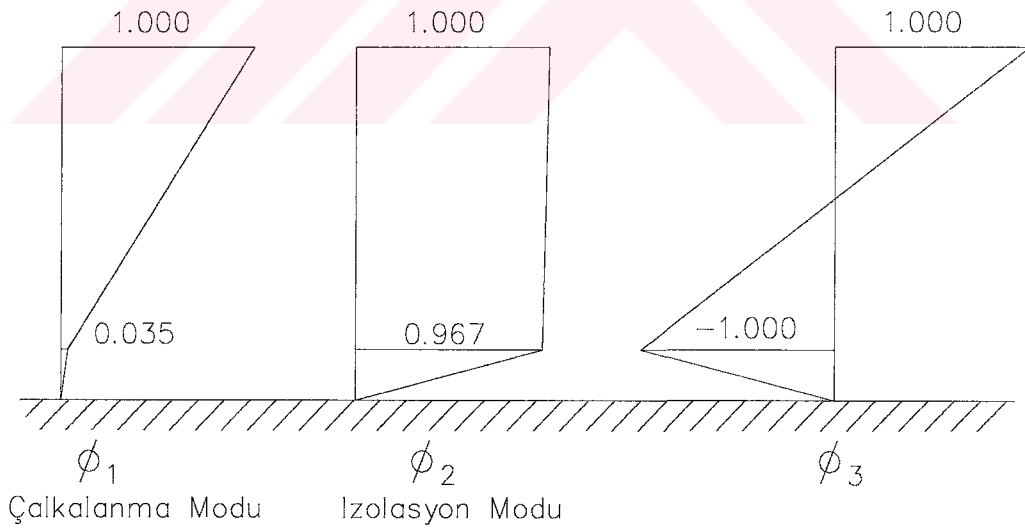
$$\omega_1^2 = \omega_c^2 \{1 - \gamma_{mc} \varepsilon_c\} \quad (2.56)$$

$$\omega_2^2 = \frac{\omega_b^2}{\{1 - \bar{\gamma}_i\}} \{1 + \bar{\gamma}_i \bar{\varepsilon}_i\} \quad (2.57)$$

$$\omega_3^2 = \frac{\omega_i^2}{\{1 - \gamma_{mc}\}} \{1 + \gamma_{mc} \varepsilon_c\} \{1 - \bar{\gamma}_i \bar{\varepsilon}_i\} \quad (2.58)$$

Modal matrisin hesabında ε_c ve ε_i 'nin ikinci mertebeden terimleri ihmal edilmiştir. Yukarıdaki ifadeler yerine konulduğunda modal matris aşağıdaki şekliyle elde edilir.

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \frac{-\gamma_{mc} \varepsilon_c}{\{1 - \frac{1}{\varepsilon_c \varepsilon_i}\}} & \frac{\varepsilon_i \{-\varepsilon_c + \varepsilon_c \bar{\gamma}_i + 1 + \bar{\varepsilon}_i \bar{\gamma}_i\}}{\{\varepsilon_i - 1 + \bar{\gamma}_i\}} & \frac{\{\gamma_{mc} - 1\}}{\bar{\gamma}_i \bar{\varepsilon}_i - \gamma_{mc} \{1 + \varepsilon_c\}} + 1 \\ \frac{\gamma_{mc} \varepsilon_c}{1 - \gamma_{mc} \varepsilon_c} & \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_c \bar{\gamma}_i - 1 - \bar{\gamma}_i \bar{\varepsilon}_i}{1 + \bar{\gamma}_i \bar{\varepsilon}_i} & \frac{\varepsilon_c \varepsilon_i \{1 - \gamma_{mc}\}}{\{1 + \gamma_{mc} \varepsilon_c\} \{1 - \bar{\gamma}_i \bar{\varepsilon}_i\}} - 1 \end{bmatrix} \quad (2.59)$$



Şekil 2.3. Taban izolasyonlu sistemin mod şekilleri ($S = 0.5$, $T_b = 2.0$ sn., $\xi_b = 0.1$).

Sistemin serbest titreşiminde, çalkalanma modu, en düşük açısal frekansa sahip olduğu için birinci mod olmaktadır. İzolasyon modu olarak adlandırılan ikinci modda ise taban izolasyonu etkisi açıkça Şekil 2.3.'de görülmektedir.



2.5. Mukabele Spektrumu Yönteminin Geliştirilmesi

Mukabele spektrumu yöntemi kullanılarak, modal analiz yöntemi ile elde edilen modal büyüklükler, istenen yer ivmesi spektrum kayıtlarından yola çıkılarak fiziksel büyüklüklerin tahmininde kullanılabilir. Deprem mühendisliğinde diğer bir hesap yöntemi olan zaman tanım alanında analiz yöntemi kesin davranışı yansıtması açısından daha hassas ve gerçekçi bir hesap yöntemidir. Buna karşın mukabele spektrumu yöntemi daha az hesap yoğunluğuna sahip olmasıyla birlikte matematiksel yorumu daha anlaşılabilir olduğundan ötürü deprem mukabelesinin hesabında tercih edilen diğer bir metottur.

Mukabele spektrumu yönteminde yer hareketi kayıtlarında, taban izolasyonlu sıvı tankına ait serbest titreşim frekanslarına tekabül eden pik mukabele değerleri elde edilerek, modal süperpozisyon uygulanarak istenen mukabele büyüklükleri elde edilir.

Taban kesme kuvveti için,

$$F_b^n = c_b \phi_n^3 \Gamma_n S_v(\omega_n, \xi_n) + k_b \phi_n^3 \Gamma_n S_d(\omega_n, \xi_n) \quad (2.60)$$

Konvektif Yerdeğiştirme için,

$$X_c^n = \phi_n^1 \Gamma_n S_d(\omega_n, \xi_n) \quad (2.61)$$

İzolasyon Yerdeğiştirmesi için,

$$X_b^n = \phi_n^3 \Gamma_n S_d(\omega_n, \xi_n) \quad (2.62)$$

$S_d(\omega_n, \xi_n)$ yer hareketinin ilgili moddaki açısal frekans ve sönümüne bağlı olarak tek serbestlik dereceli bir sistemin maksimum yerdeğiştirmesini ifade eden yerdeğiştirme spektrumudur.



Taban kesme kuvvetinin hesabında kullanılan pik deplasman ve pik hızdan oluşan bileşenler aynı anda meydana gelmeyeceklerinden ötürü SRSS yöntemi kullanılarak mod süperpozisyonu gerçekleştirilmiştir. [Shrimali ve Jangid, 2003]

$$S_v(\omega_n, \xi_n) = \omega_n S_d(\omega_n, \xi_n) \quad (2.63)$$

$$F_b^n = \{\sqrt{(c_b \omega_n)^2 + k_b^2}\} \phi_3^n \Gamma_n S_d(\omega_n, \xi_n) \quad (2.64)$$

2.6. Mukabele Spektrumu Yönteminin Sıvı Tanklarının Deprem Davranışının Hesabında Kullanılması

Mukabele spektrumu yöntemi kullanılarak modal analizden elde edilen modal parametreler, modal matris ve modal katılım oranları gözönüne alınarak aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. Taban kesme kuvvetinin hesabında, sönüm, ilgili moddaki açısıl frekansla çarpılıp denkleme katılarak, izolasyon sönümünün etkisinde hesaba girmiştir. [Shrimali ve Jangid, 2003]

$$F_b = \{\sqrt{(c_b \omega_2)^2 + k_b^2}\} \frac{\{\varepsilon_c - \varepsilon_c \bar{\gamma}_i - 1 - \bar{\gamma}_i \bar{\varepsilon}_i\}}{\{1 + \bar{\gamma}_i \bar{\varepsilon}_i\}} \Gamma_2 I_2 \quad (2.65)$$

$$X_c = \Gamma_1 I_1 + \Gamma_2 I_2 \quad (2.66)$$

$$X_b = \frac{\{\varepsilon_c - \varepsilon_c \bar{\gamma}_i - 1 - \bar{\gamma}_i \bar{\varepsilon}_i\}}{\{1 + \bar{\gamma}_i \bar{\varepsilon}_i\}} \Gamma_2 I_2 \quad (2.67)$$

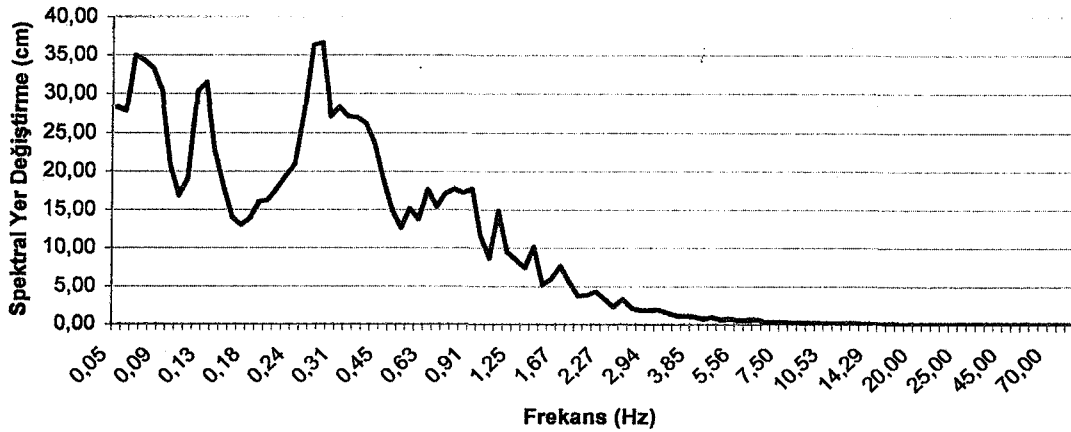
$$I_n = - \int_0^t \ddot{X}_g(\tau) \left\{ \frac{e^{\xi_n \omega_n (t-\tau)}}{\omega_{dn}} \right\} \sin\{\omega_{dn}(t-\tau)\} d\tau \quad (2.68)$$

I_n , yer hareketine ait yerdeğiştirme spektrumudur. Modal süperpozisyon yöntemi olarak, konvektif yerdeğiştirmenin hesabında ABS (Absolute Sum Rule) yöntemi, taban kesme kuvvetinin hesabında ise SRSS yöntemi tercih edilmiştir.



3. PARAMETRİK ÇALIŞMA

Parametrik çalışma, tankın kendisine bağlı olarak ($S = H/R$) narinlik oranının değişimi, taban izolasyonuna bağlı olarak (T_b) izolasyon periyodu ve (ξ_b) izolasyon sönüm oranı parametrelerinin değişimini gözönüne almaktadır. 3D-BASIS programı kullanılarak zaman tanım alanında yapılan hesapların sonucu, grafiklerde değişime bağlı olarak ifade edilmiştir. Yer hareketi kaydı olarak, El-Centro 1940 I-ELC 180 bileşeni ($PGA = 0.313$ g) kullanılmıştır. Bu çalışmada ilgili yer hareketinin ivme-zaman ve spektrum büyüklük değişimlerinden istifade edilmiştir. Parametrik çalışmanın sonunda, zaman tanım alanında hesap ile elde edilen büyüklükler, mukabele spektrumu yöntemine dayanılarak yapılan hesapların sonuçları ile karşılaştırılarak dinamik analiz sonuçları irdelenmiş ve sonrasında taban izolasyonsuz sıvı tankının deprem mukabelesi ile kıyaslanmıştır. Sisteme ait modal parametreler yukarıda sunulan modal analiz yöntemi ile deprem mukabelesi ise 3D-BASIS programı kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan parametrik çalışmaların tamamında, tankın su ile dolu olduğu ($\rho_w = 1000$ kg/m³), tank duvarının çelik malzemesinden imal edilmiş olduğu ($E = 2.10^5$ Mpa), konvektif ve impulsif kütlelere ait sönüm oranlarının ise sırasıyla 0.005 ve 0.02 olduğu [Shrimali ve Jangid, 2003], sıvı kütlesinin yüksekliği $H = 10$ m olduğu kabul edilerek hesaplar yapılmıştır. Mukayesesi yapılan büyüklükler konvektif yerdeğiştirme, izolasyon yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvvetinin tank ağırlığına oranıdır. İzolasyon periyodu ve sönümünün değişimi dikkate alınan parametrik çalışmalar farklı narinlik oranlarına sahip Geniş ($S=0.5$) ve Narin ($S=2.0$) tanklar için yapılmış olup aralarında mukayese edilmiştir.

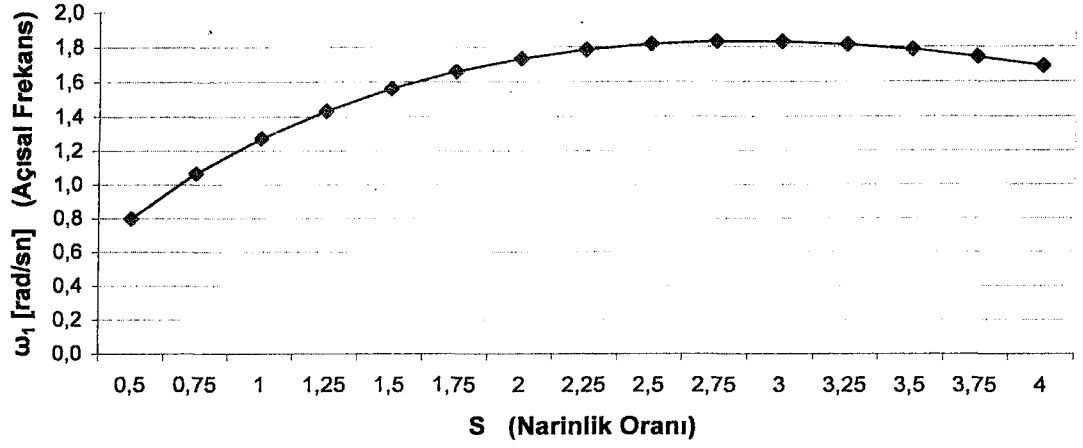


Şekil 3.1. I-ELC180 %10 Sönümlü Yerdeğiştirme Spektrumu Eğrisi.

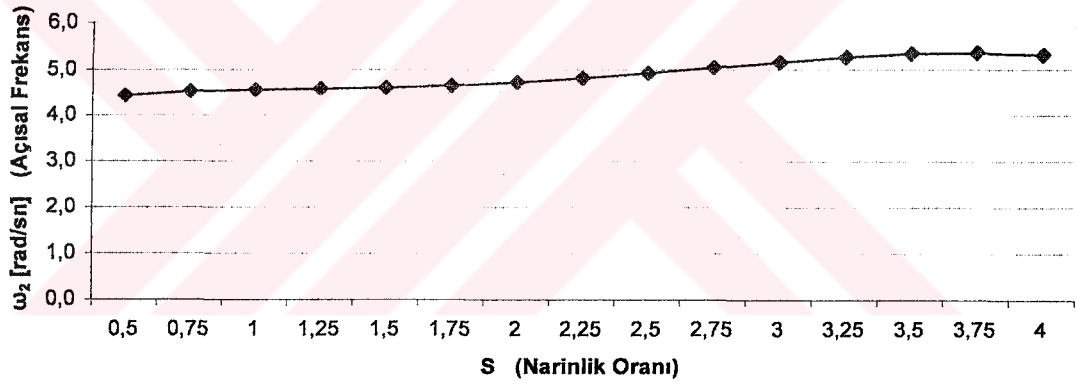


3.1. Taban İzolasyonlu Tanklarda Narinlik Oranı Etkisi

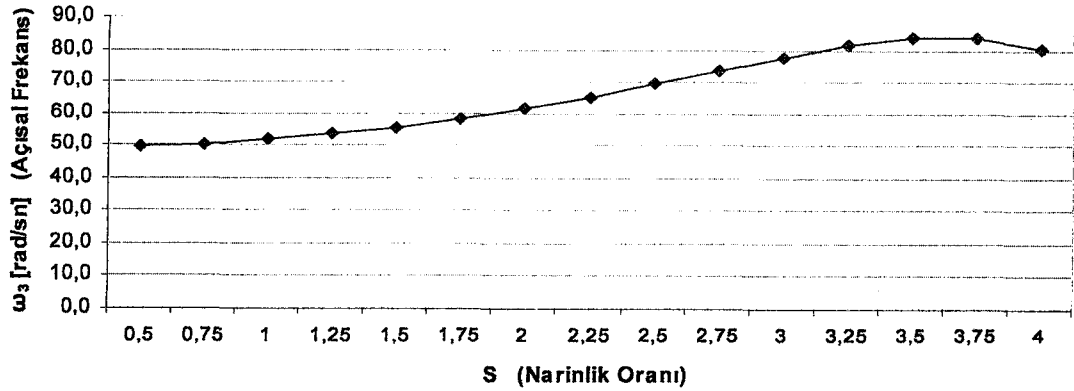
3.1.1. Narinlik Oranı Değişiminin Modal Parametrelere Etkisi



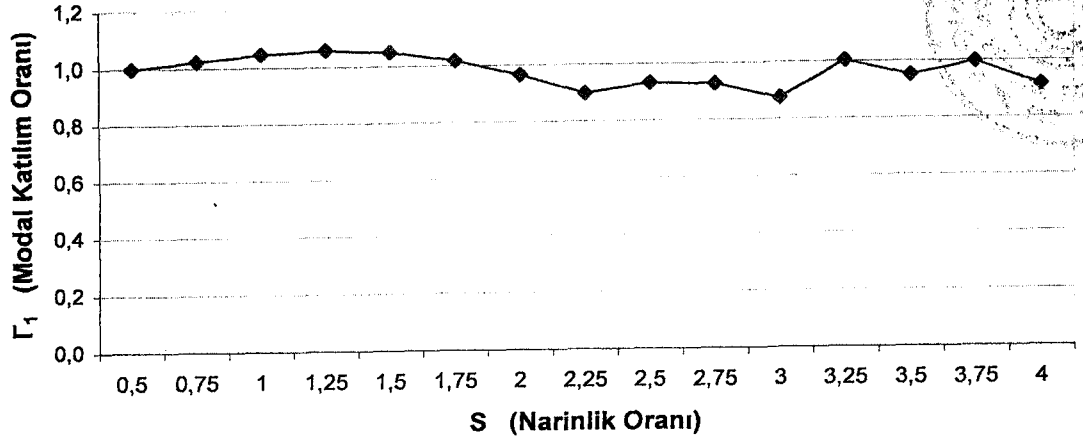
Şekil 3.2. Narinlik oranı değişiminin 1. mod açısal frekansına etkisi ($T_b=2.0$ sn, $\xi_b=0.10$).



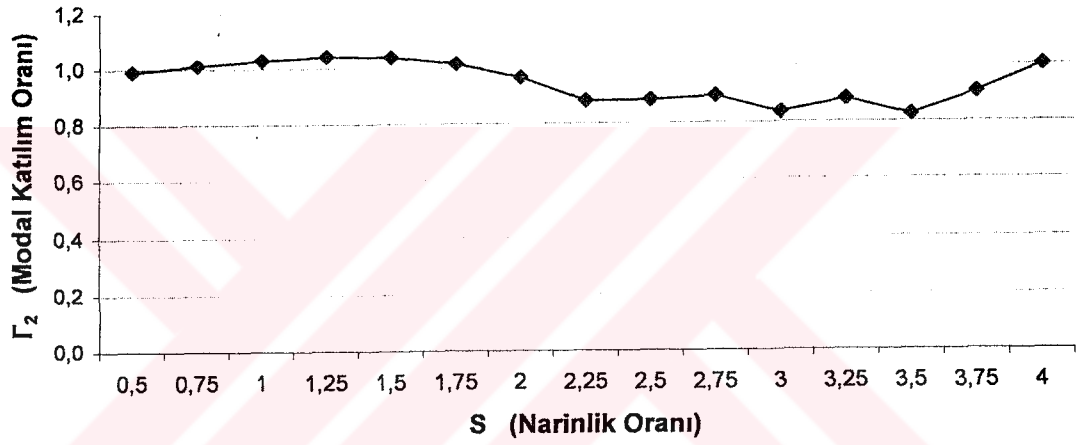
Şekil 3.3. Narinlik oranı değişiminin 2. mod açısal frekansına etkisi ($T_b=2.0$ sn, $\xi_b=0.10$).



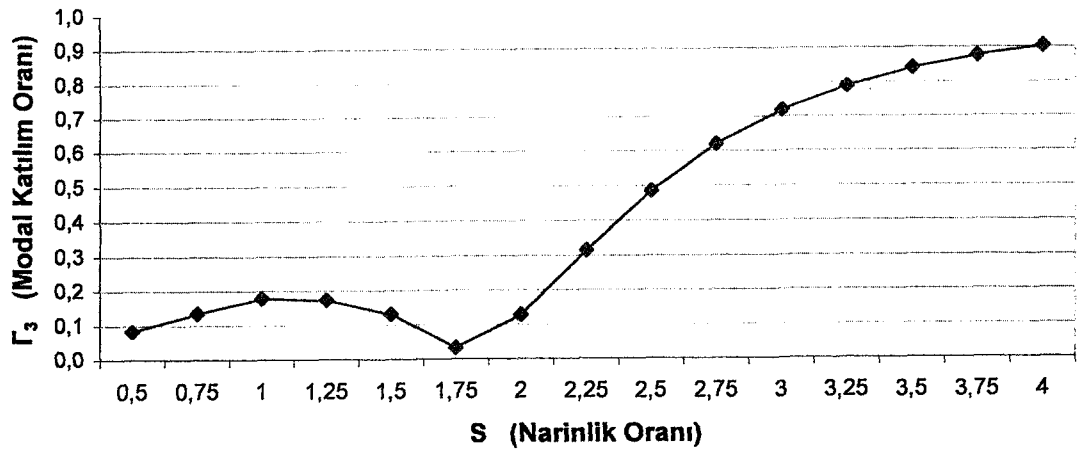
Şekil 3.4 Narinlik oranı değişiminin 3. mod açısal frekansına etkisi ($T_b=2.0$ sn, $\xi_b=0.10$).



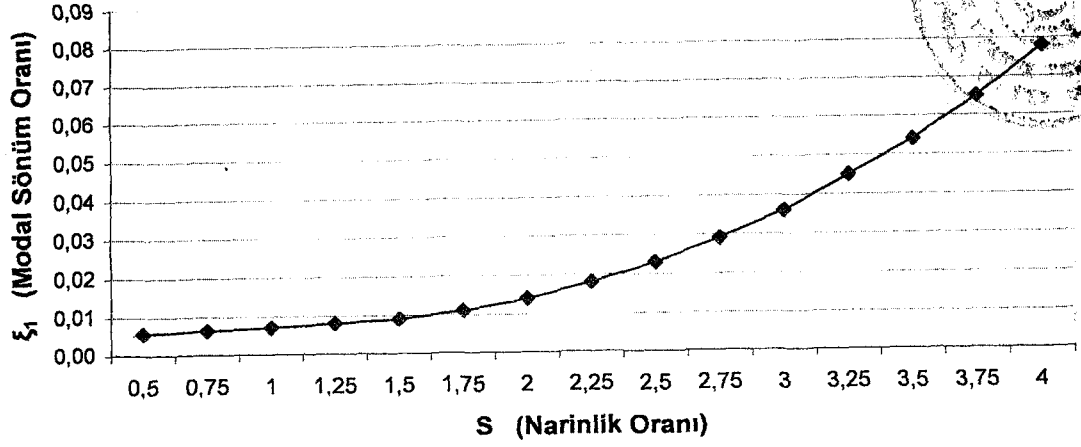
Şekil 3.5. Narinlik oranı değişiminin 1. mod katılım oranına etkisi ($T_b=2.0\text{sn}$, $\xi_b=0.10$).



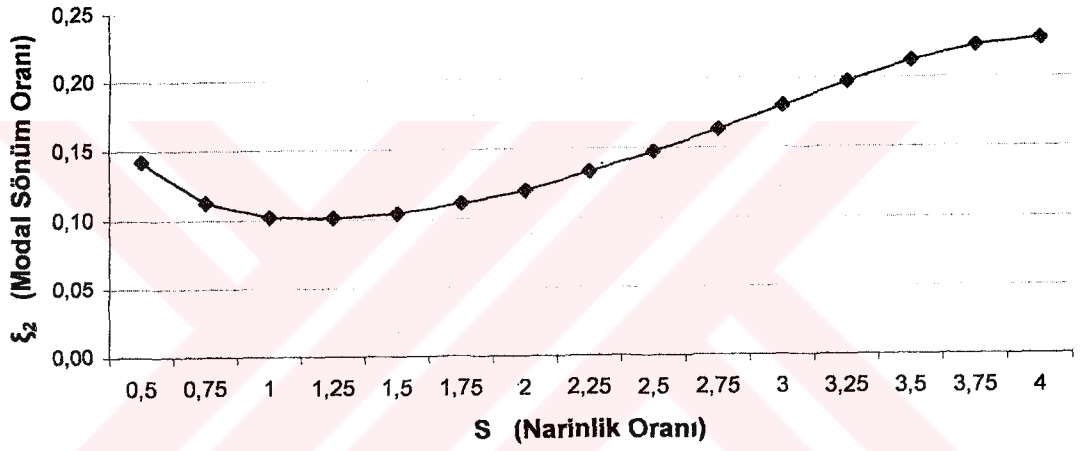
Şekil 3.6. Narinlik oranı değişiminin 2. mod katılım oranına etkisi ($T_b=2.0\text{sn}$, $\xi_b=0.10$).



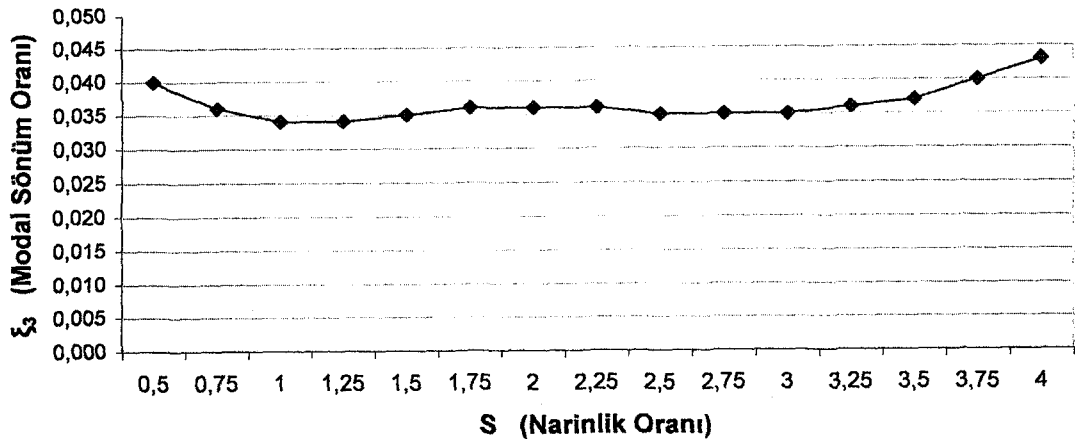
Şekil 3.7. Narinlik oranı değişiminin 3. mod katılım oranına etkisi ($T_b=2.0\text{sn}$, $\xi_b=0.10$).



Şekil 3.8. Narinlik oranı değişiminin 1. mod sönüm oranına etkisi ($T_b=2.0sn$, $\xi_b=0.10$).



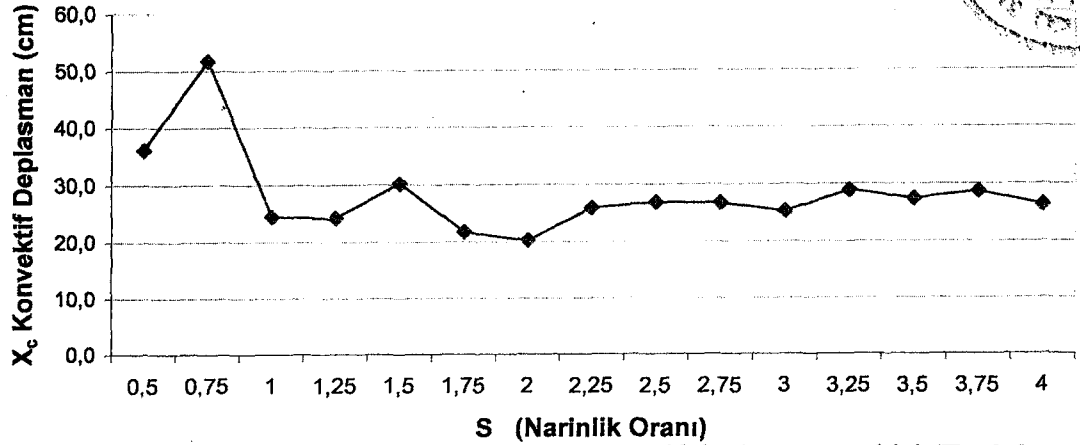
Şekil 3.9. Narinlik oranı değişiminin 2. mod sönüm oranına etkisi ($T_b=2.0sn$, $\xi_b=0.10$).



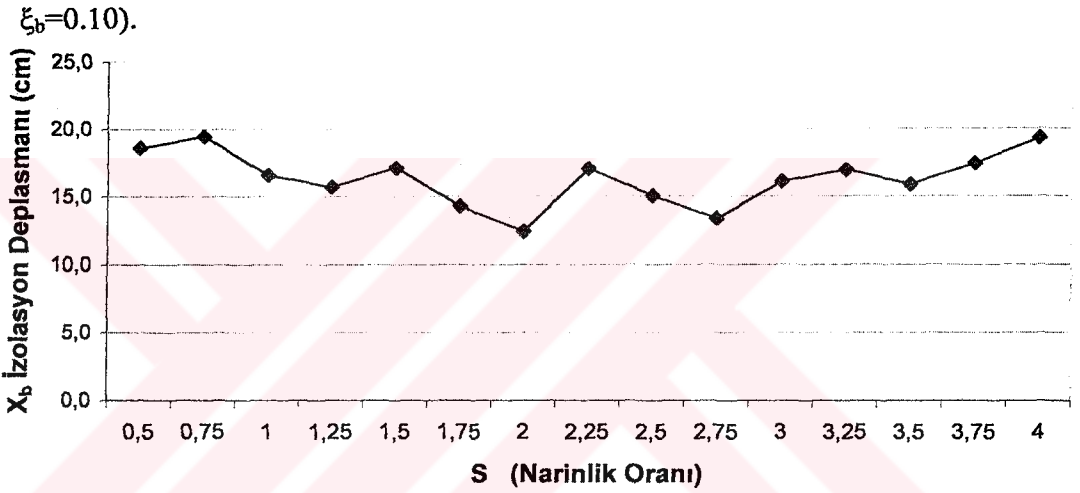
Şekil 3.10. Narinlik oranı değişiminin 3. mod sönüm oranına etkisi ($T_b=2.0sn$, $\xi_b=0.10$).



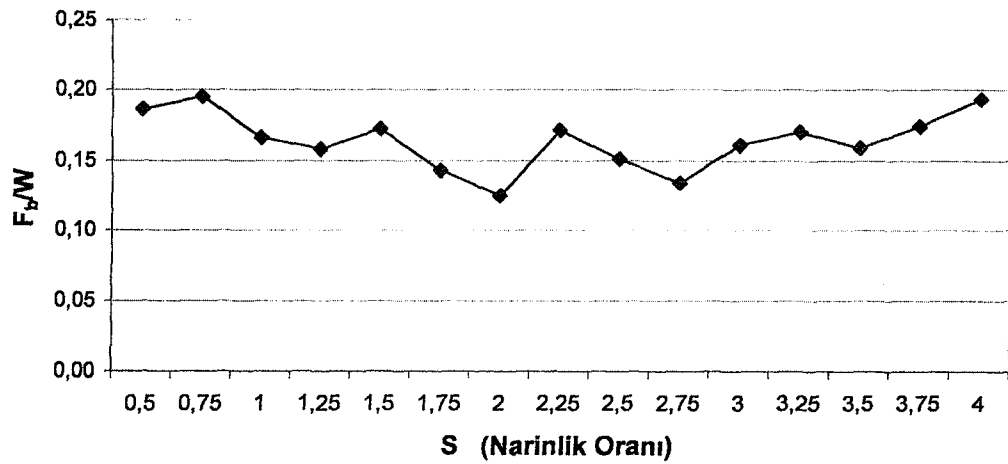
3.1.2. Narinlik Oranı Değişiminin Deprem Davranışına Etkisi



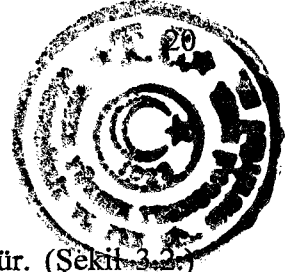
Şekil 3.11. Narinlik oranı değişiminin konvektif deplasmana etkisi ($T_b=2.0$ sn,



Şekil 3.12. Narinlik oranı değişiminin izolasyon deplasmanına etkisi ($T_b=2.0$ sn, $\xi_b=0.10$).



Şekil 3.13. Narinlik oranı değişiminin taban kesme kuvveti – tank ağırlığı oranına etkisi ($T_b=2.0$ sn, $\xi_b=0.10$).

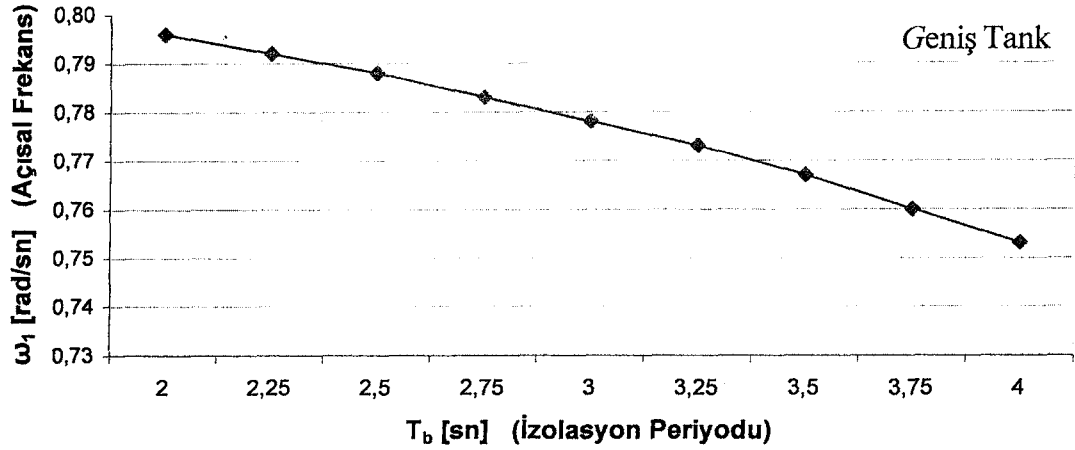


Narinlik oranındaki artışa bağlı olarak,

- Çalkalanma açısai frekansında bir miktar artış olduğu görülmüştür. (Şekil 3.2.) Fakat izolasyon açısai frekansında ciddi bir artış görülmemiştir. (Şekil 3.3.) 3. mod açısai frekansı belirli bir narinlik oranı değışiminden sonra hızlı bir artış göstermektedir.
- Çalkalanma ve izolasyon modları modal katılım oranlarında ciddi bir değışiklik meydana gelmemiştir. (Şekil 3.5.) ve (Şekil 3.6.) 3. mod modal katılım oranı belirli bir narinlik oranı sınırından sonra ciddi bir artış göstermektedir. (Şekil 3.7.)
- Çalkalanma modu modal sönüm oranında %05'lerden %8'lere varan mertebelerde artış olmuştur. (Şekil 3.8.) İzolasyon modunda ise bir miktar azalma sonrasında modal sönüm oranı başlangıçta %14 iken, %23'lere kadar artmıştır. (Şekil 3.9.) 3. mod modal sönüm oranında ise kayda değeri bir değışim görülmemiştir.
- Sistemin deprem mukabelesinde, çalkalanma deplasmanında bir miktar artış ve azalmayı takiben değeri 20-30 cm aralığında kalmıştır. Fakat tankın narinlik oranı arttıkça geniş tanka nazaran daha az çalkalanma deplasmanı meydana geldiği söylenebilir. İzolasyon deplasmanı ve taban kesme kuvveti – tank ağırlığı oranı grafikleri incelendiğinde, bu büyüklüklerin narinlik oranındaki değışimden fazla etkilenmedikleri görülmüştür.(Şekil 3.12.) ve (Şekil 3.13)

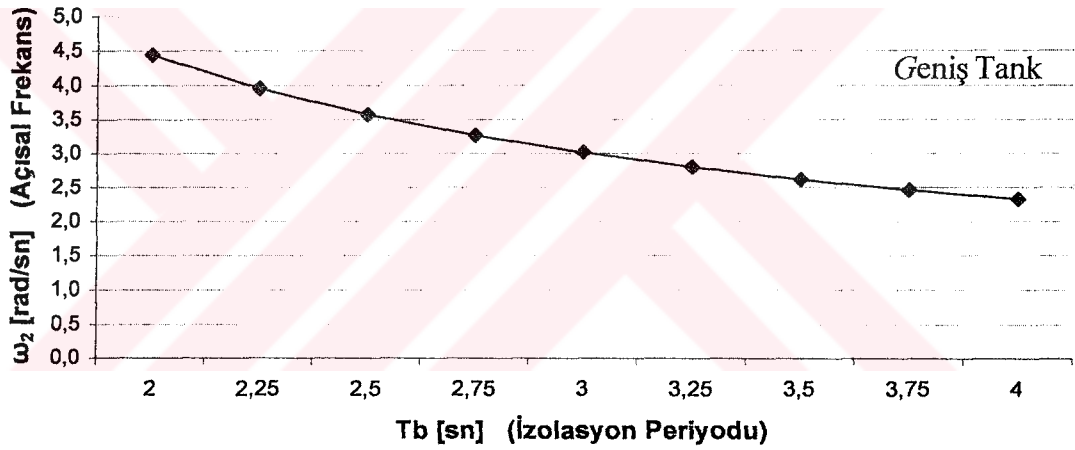
3.2. Taban İzolasyonlu Tanklarda İzolasyon Periyodu Etkisi

3.2.1. İzolasyon Periyodu Değişiminin Modal Parametrelere Etkisi



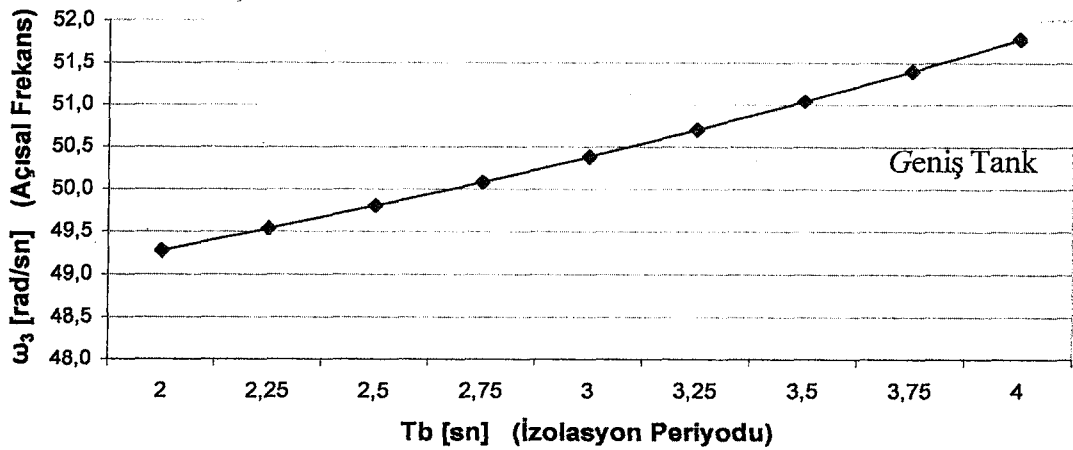
Şekil 3.14. İzolasyon periyodu değişiminin 1. mod açısal frekansına etkisi

($S=0.5$, $\xi_b=0.10$).

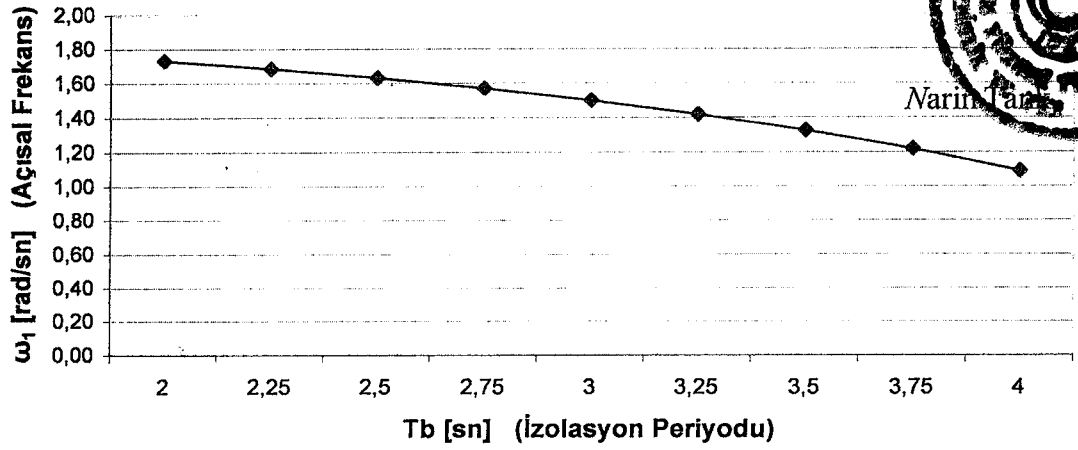


Şekil 3.15. İzolasyon periyodu değişiminin 2. mod açısal frekansına etkisi

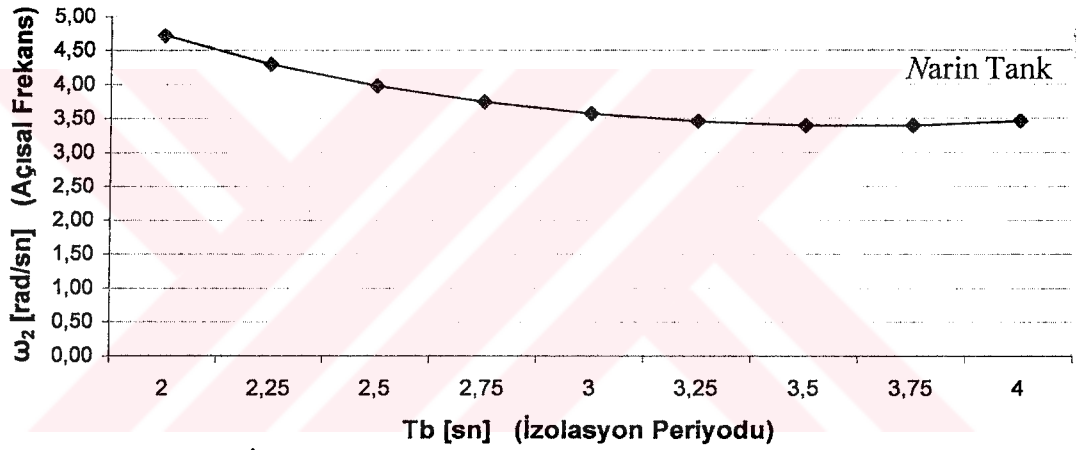
($S=0.5$, $\xi_b=0.10$).



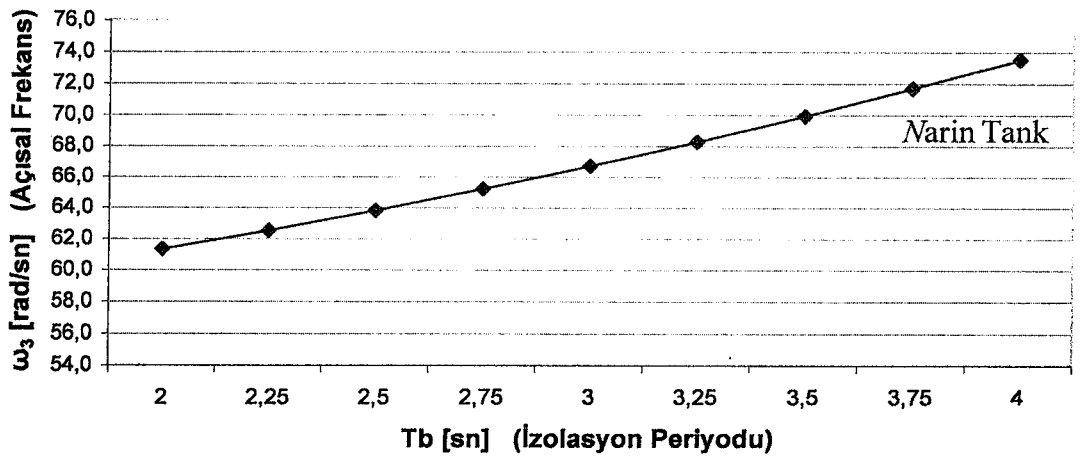
Şekil 3.16. İzolasyon periyodu değişiminin 3. mod açısal frekansına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$).



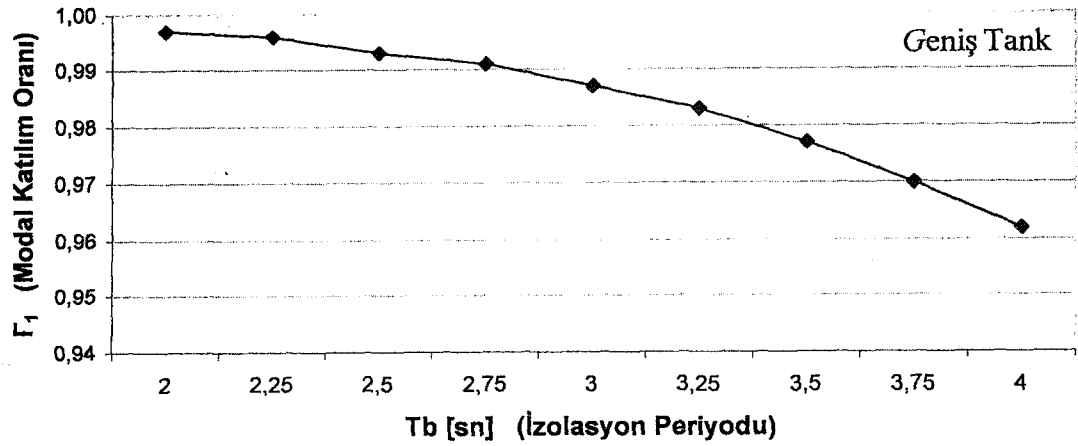
Şekil 3.17. İzolasyon periyodu değişiminin 1. mod açısal frekansına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$).



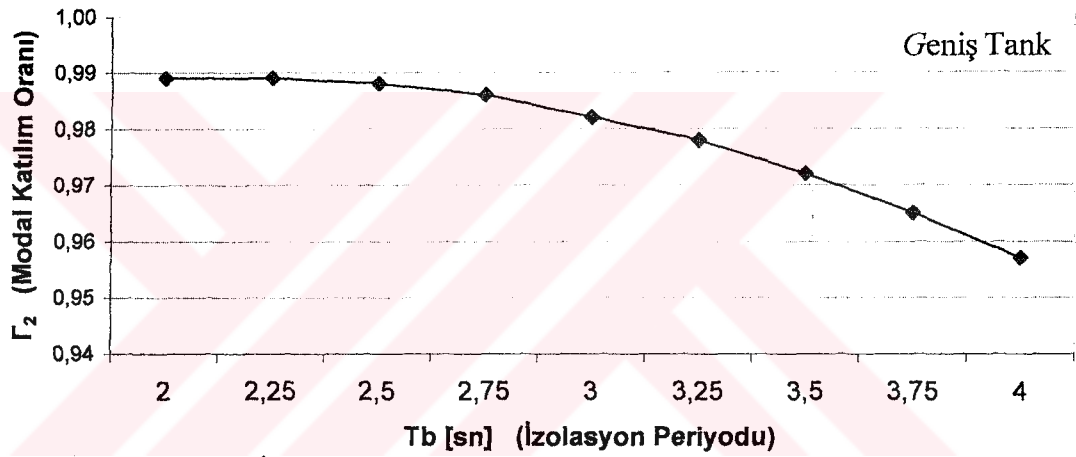
Şekil 3.18. İzolasyon periyodu değişiminin 2. mod açısal frekansına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$).



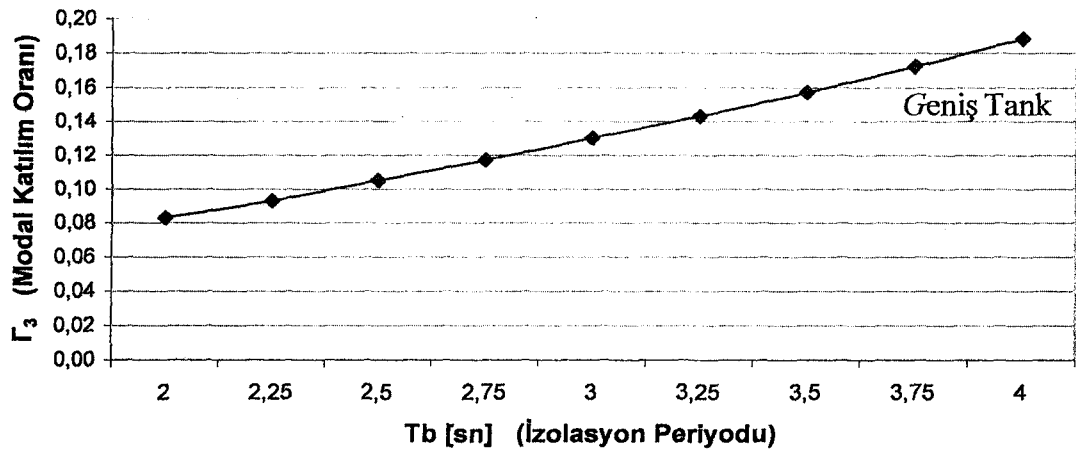
Şekil 3.19. İzolasyon periyodu değişiminin 3. mod açısal frekansına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$).



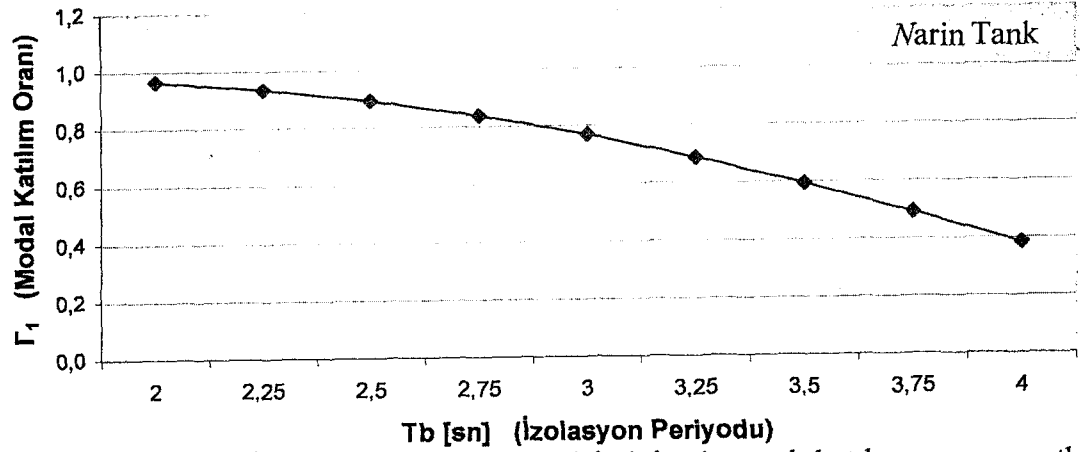
Şekil 3.20. İzolasyon periyodu değişiminin 1. mod katılım oranına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$).



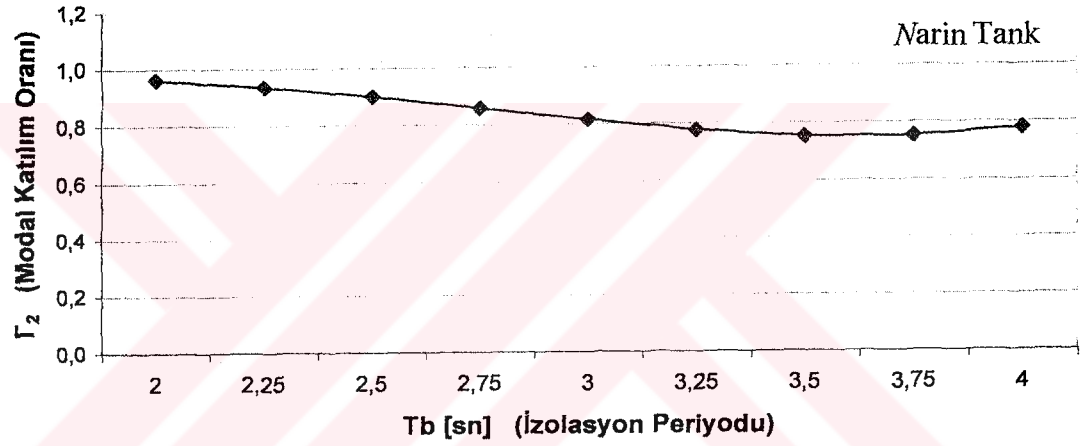
Şekil 3.21. İzolasyon periyodu değişiminin 2. mod katılım oranına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$).



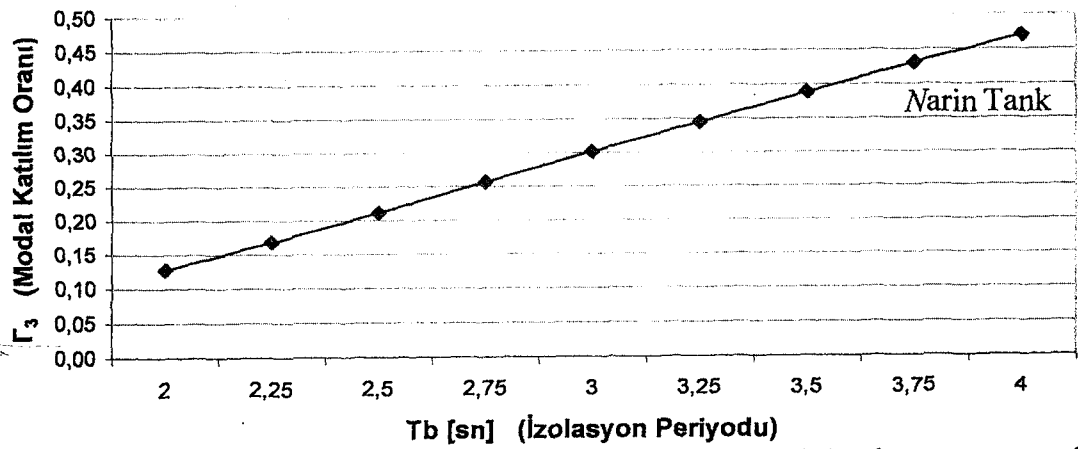
Şekil 3.22. İzolasyon periyodu değişiminin 3. mod katılım oranına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$).



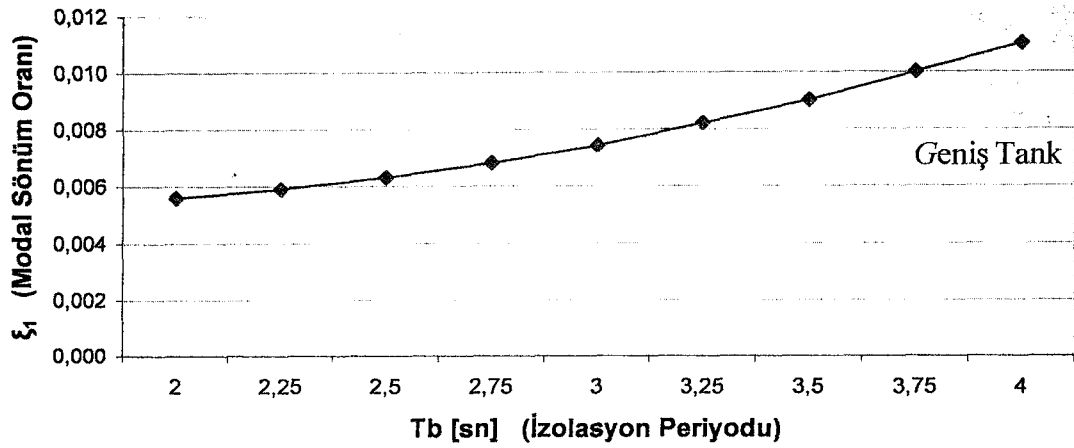
Şekil 3.23. İzolasyon periyodu değişiminin 1. mod katılım oranına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$).



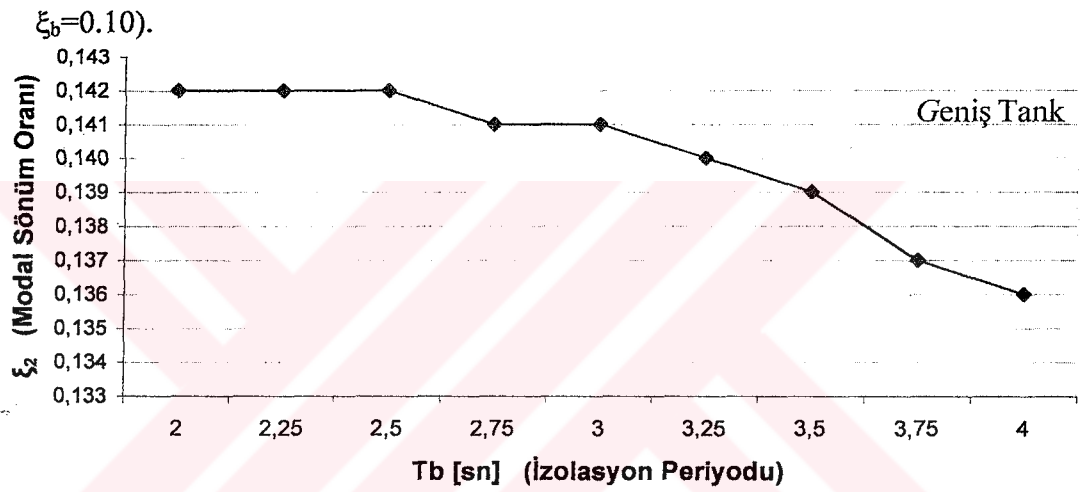
Şekil 3.24. İzolasyon periyodu değişiminin 2. mod katılım oranına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$).



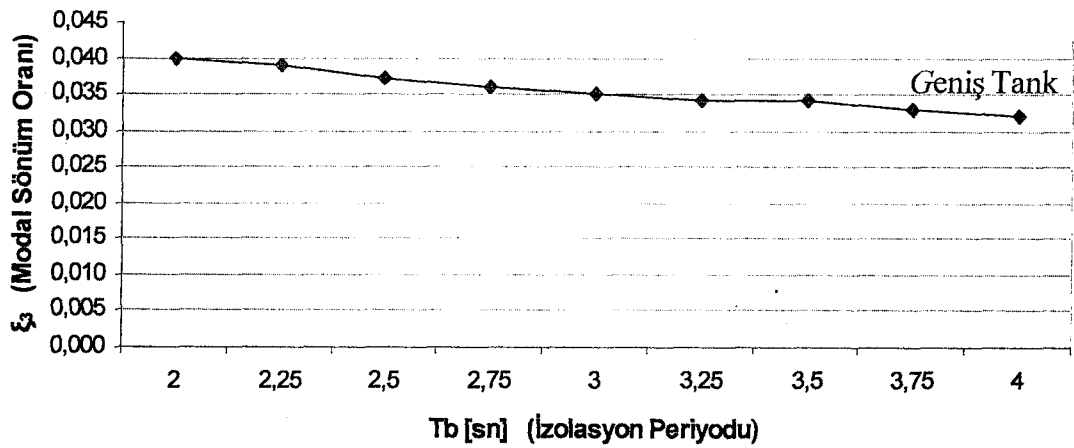
Şekil 3.25. İzolasyon periyodu değişiminin 3. mod katılım oranına etkisi ($S=2.0$, $\xi_b=0.10$).



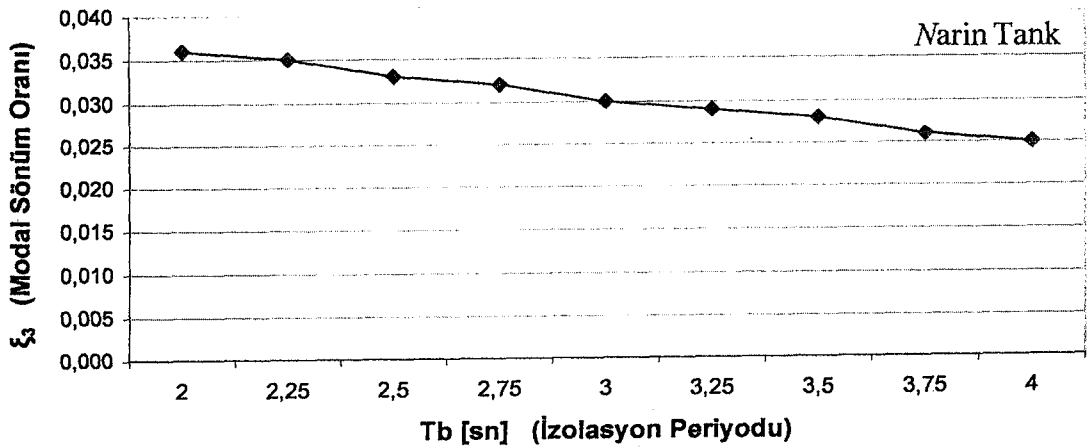
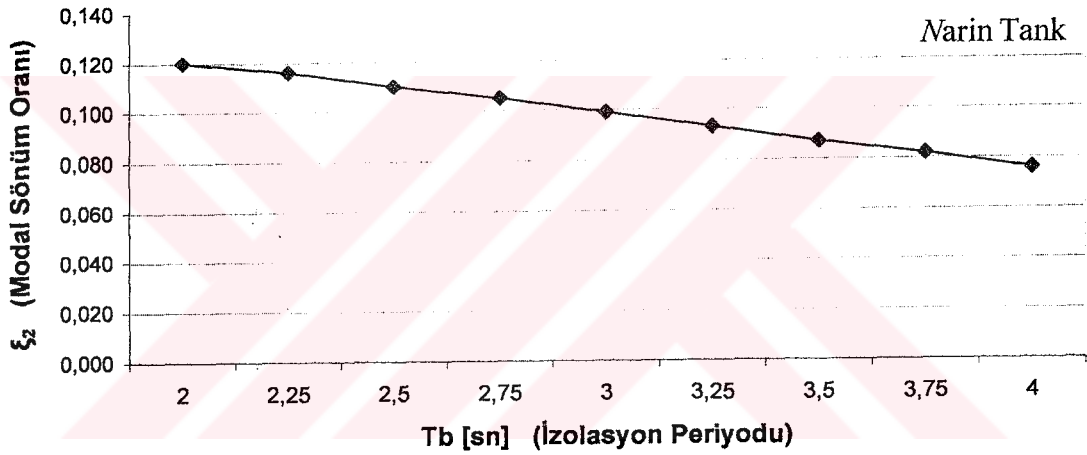
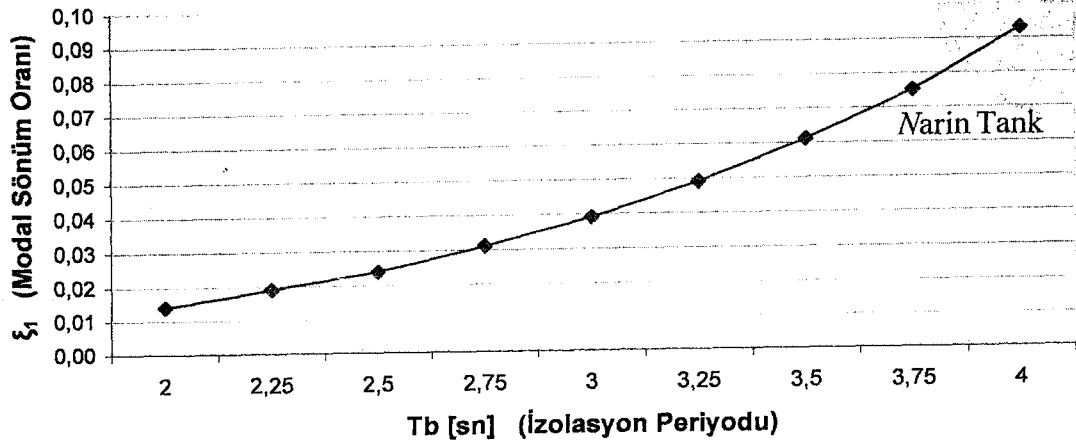
Şekil 3.26. İzolasyon periyodu değişiminin 1. mod sönüm oranına etkisi ($S=0.5$,



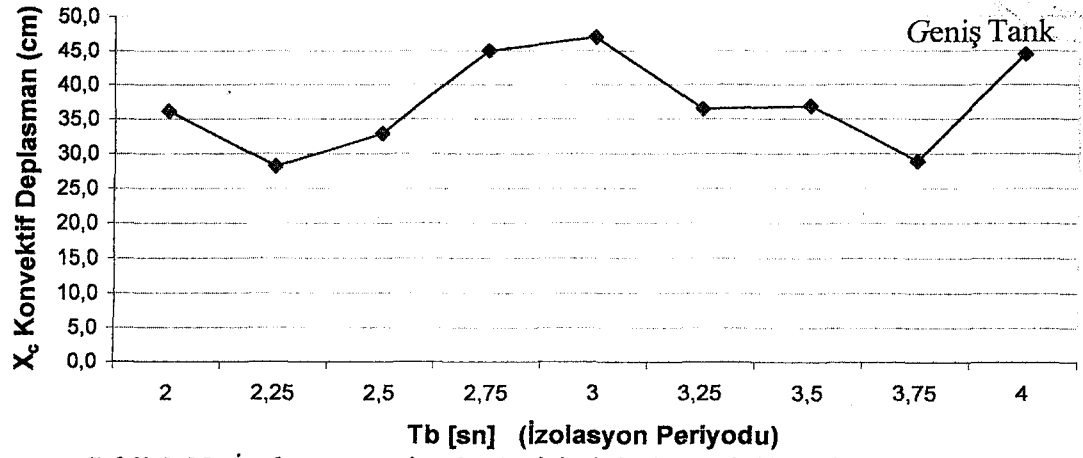
Şekil 3.27. İzolasyon periyodu değişiminin 2. mod sönüm oranına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$).



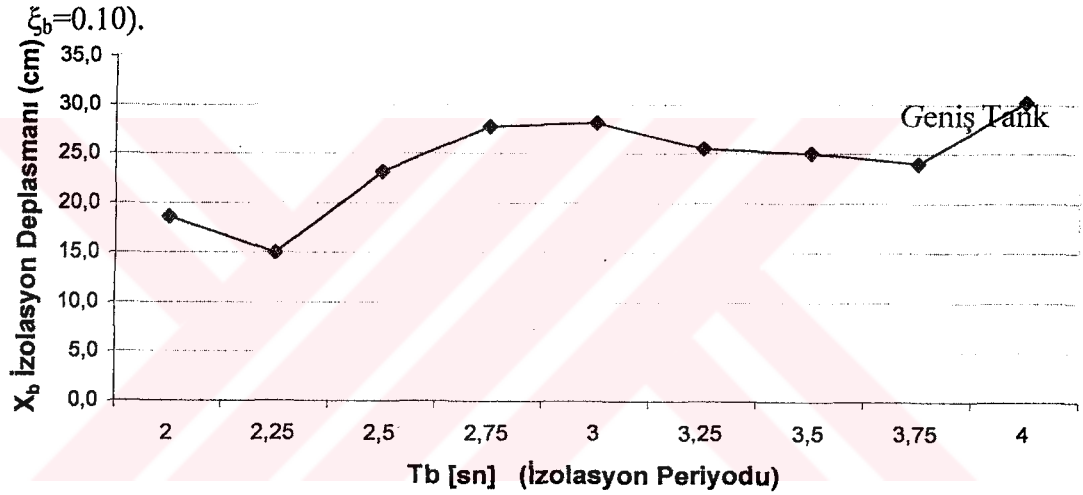
Şekil 3.28. İzolasyon periyodu değişiminin 3. mod sönüm oranına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$).



3.2.2. İzolasyon Periyodu Değişiminin Deprem Davranışına Etkisi

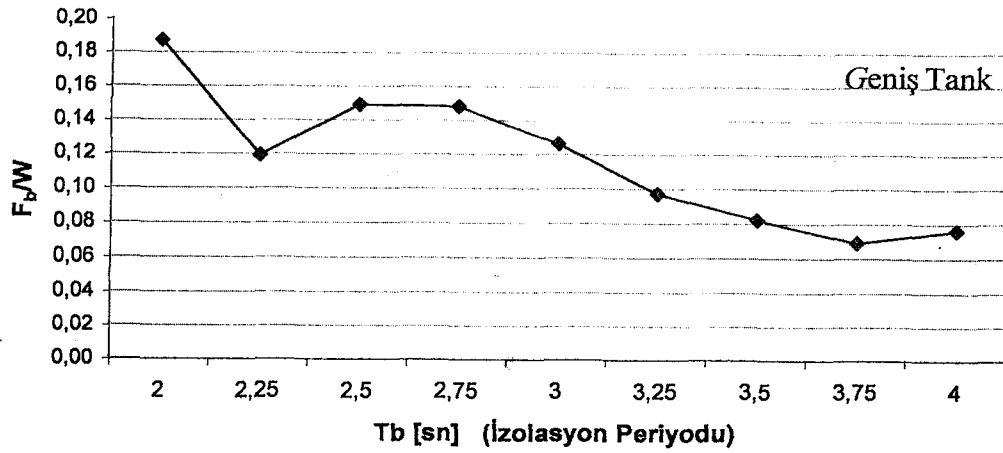


Şekil 3.32. İzolasyon periyodu değişiminin konvektif deplasmana etkisi ($S=0.5$,

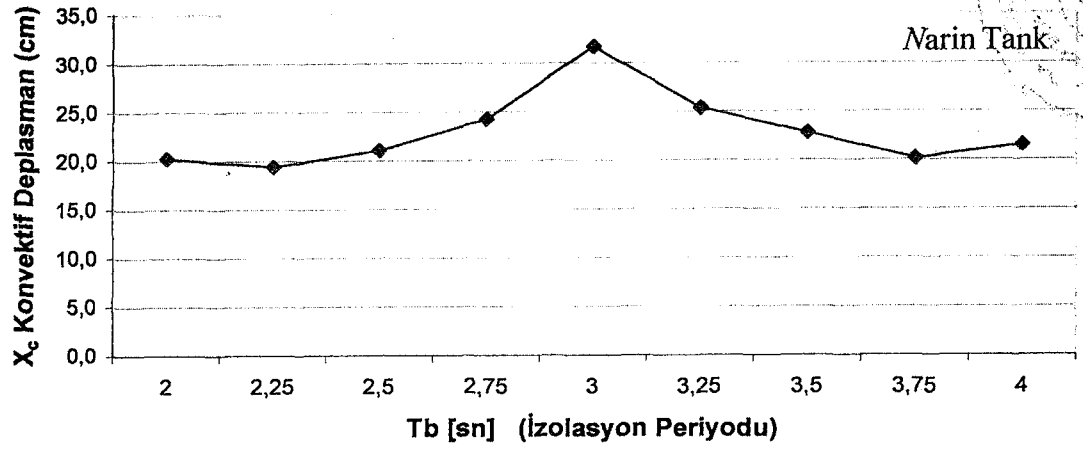


Şekil 3.33. İzolasyon periyodu değişiminin izolasyon deplasmanına etkisi

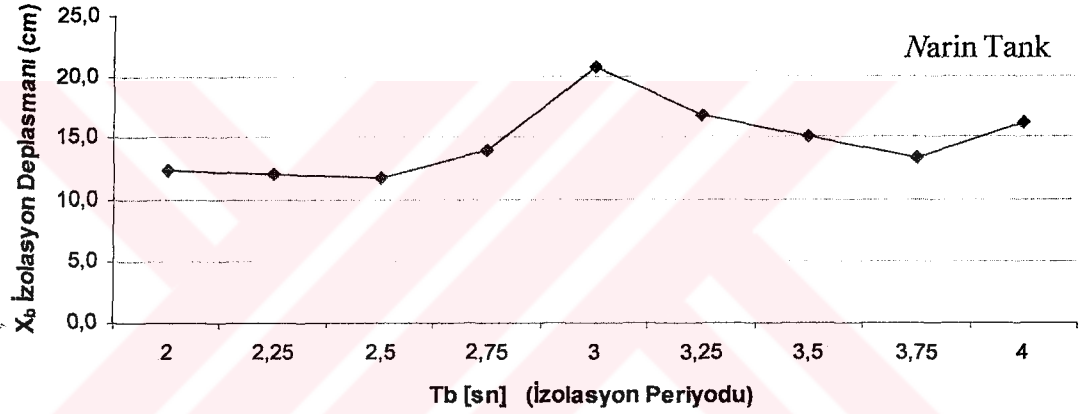
($S=0.5$, $\xi_b=0.10$).



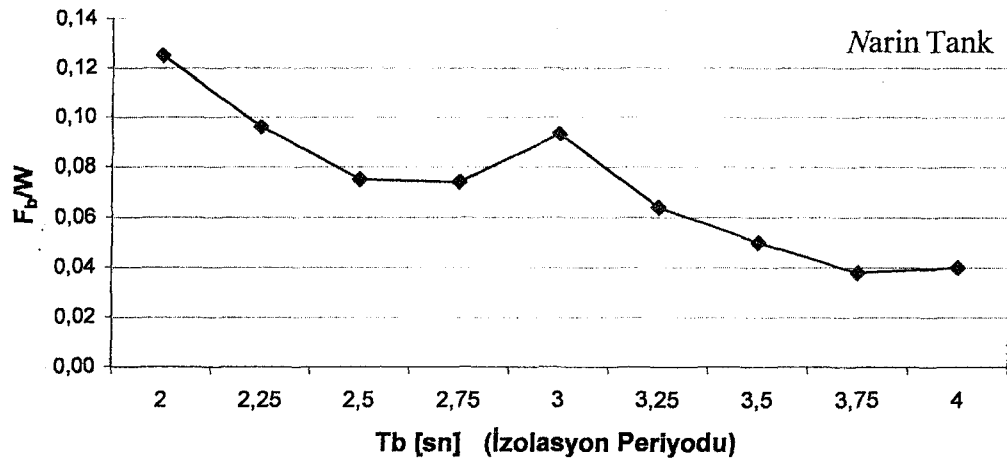
Şekil 3.34. İzolasyon periyodu değişiminin taban kesme kuvveti – tank ağırlığı oranına etkisi ($S=0.5$, $\xi_b=0.10$).



Şekil 3.35. İzolasyon periyodu değişiminin konvektif deplasmana etkisi ($S=2,0$, $\xi_b=0,10$).



Şekil 3.36. İzolasyon periyodu değişiminin izolasyon deplasmanına etkisi ($S=2,0$, $\xi_b=0,10$).



Şekil 3.37. İzolasyon periyodu değişiminin taban kesme kuvveti – tank ağırlığı oranına etkisi ($S=2,0$, $\xi_b=0,10$).



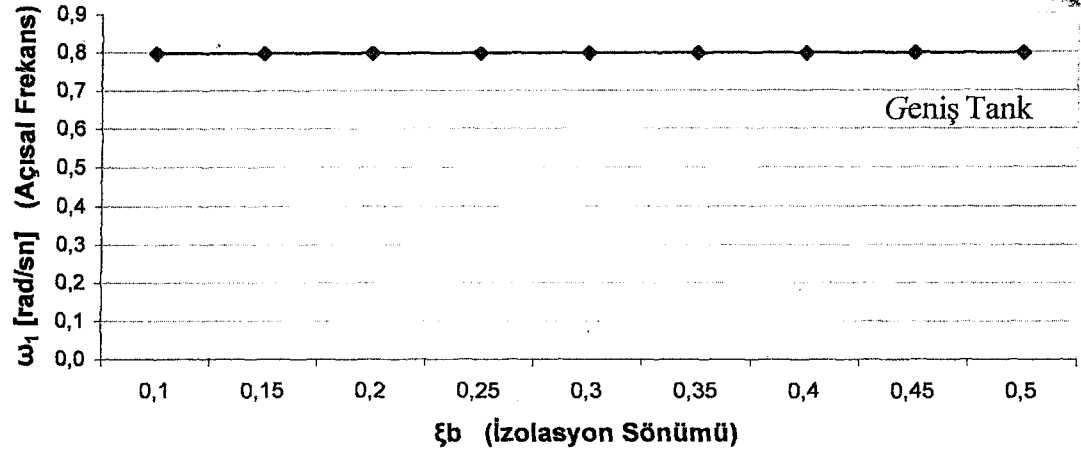
İzolasyon periyodundaki artışa bağlı olarak,

- İzolasyon modundaki açısal frekans değerlerinde, izolasyon periyodundaki artışa bağlı olarak azalmanın olduğu görülmüştür. (Şekil 3.15), (Şekil 3.18) Geniş tankın izolasyon modu açısal frekansı, narin tanka kıyasla daha hızlı bir azalma göstermektedir.
- İzolasyon periyodundaki artışın, çalkalanma modunda narin tankların, geniş tanklara nazaran modal katılım oranlarını çok daha fazla azalttığı görülmektedir. (Şekil 3.20), (Şekil 3.23.)
- İzolasyon periyodundaki artış, çalkalanma ve izolasyon modlarında modal sönüm oranı bakımından narin tankları daha fazla etkilemiştir. (Şekil 3.26), (Şekil 3.29), (Şekil 3.27), (Şekil 3.30)
- Sistemin deprem mukabelesinde, çalkalanma ve izolasyon deplasmanları özellikle $T_b = 3.0$ sn. değerinde yer hareketinin belirgin etkisi altında kalmaktadır. (Şekil 3.32.), (Şekil 3.33), (Şekil 3.35), (Şekil 3.36)
- Taban kesme kuvveti – tank ağırlığı oranı grafiği incelendiğinde izolasyon periyodundaki artış deprem yükünü ciddi anlamda azaltmaktadır. (Şekil 3.34.) ve (Şekil 3.37)

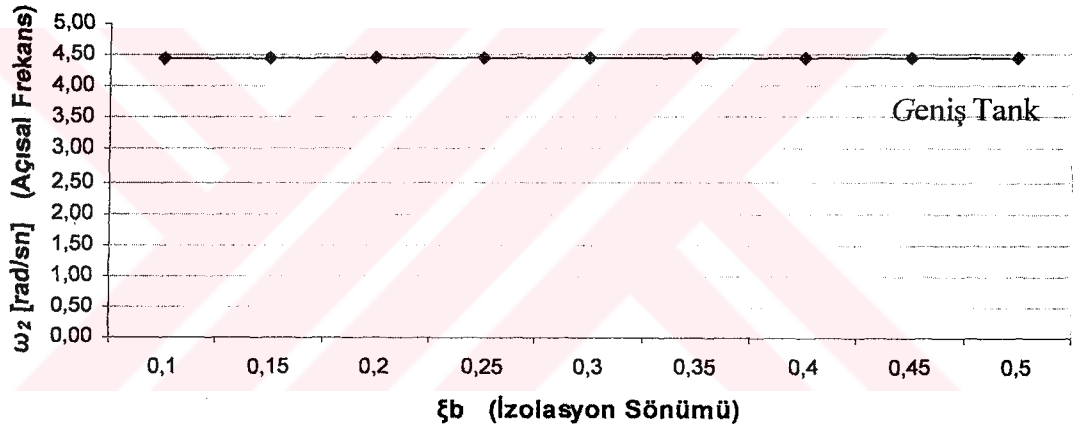


3.3. Taban İzolasyonlu Tanklarda İzolasyon Sönümü Etkisi

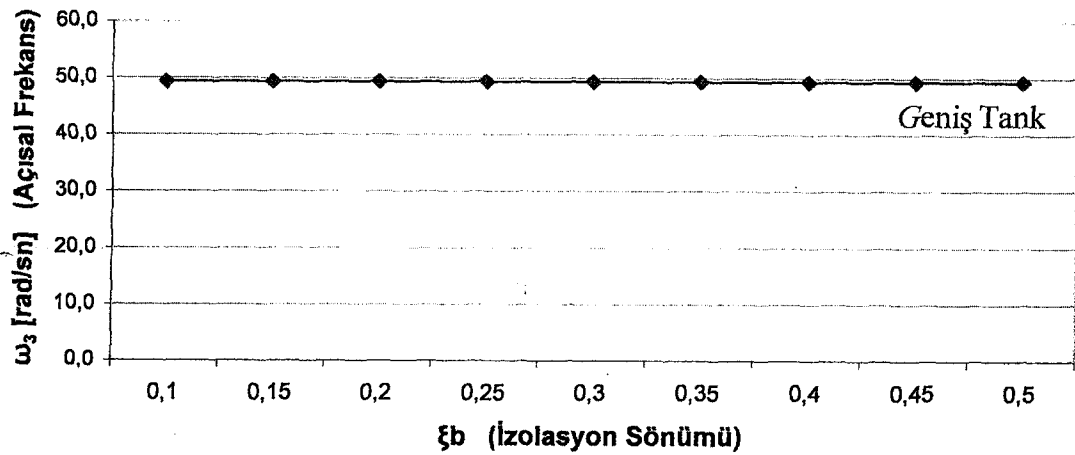
3.3.1. İzolasyon Sönüm Oranı Değişiminin Modal Parametrelere Etkisi



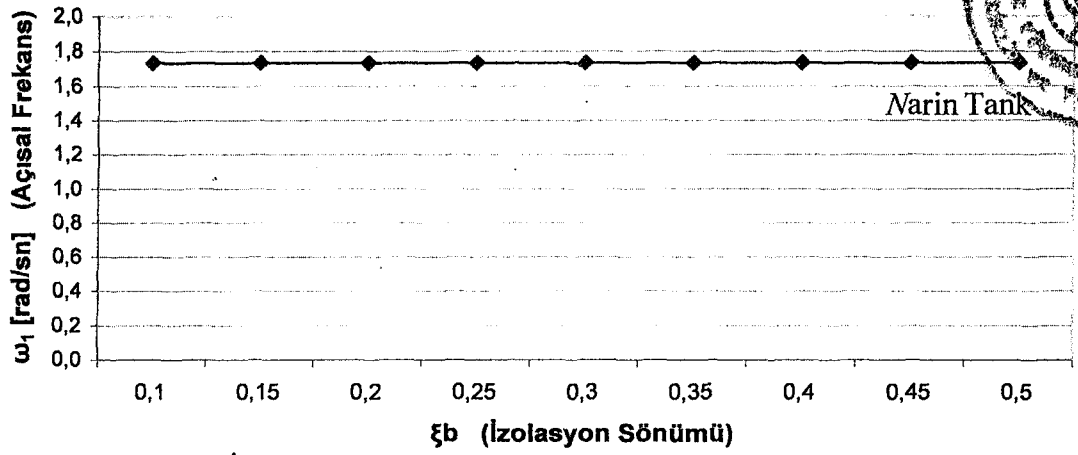
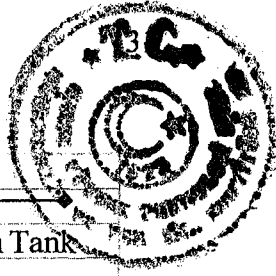
Şekil 3.38. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 1. mod açısal frekansına etkisi (S=0.5, T_b=2.0 sn.).



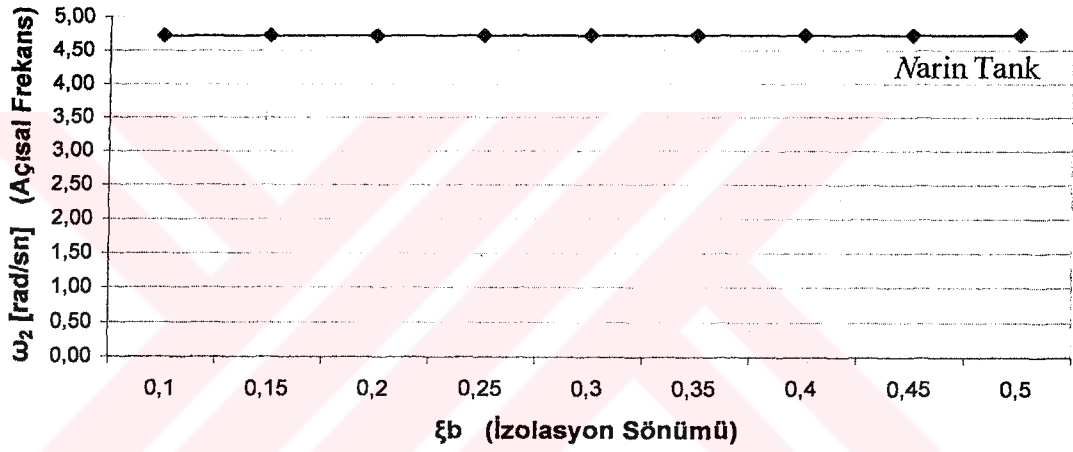
Şekil 3.39. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 2. mod açısal frekansına etkisi (S=0.5, T_b=2.0 sn.).



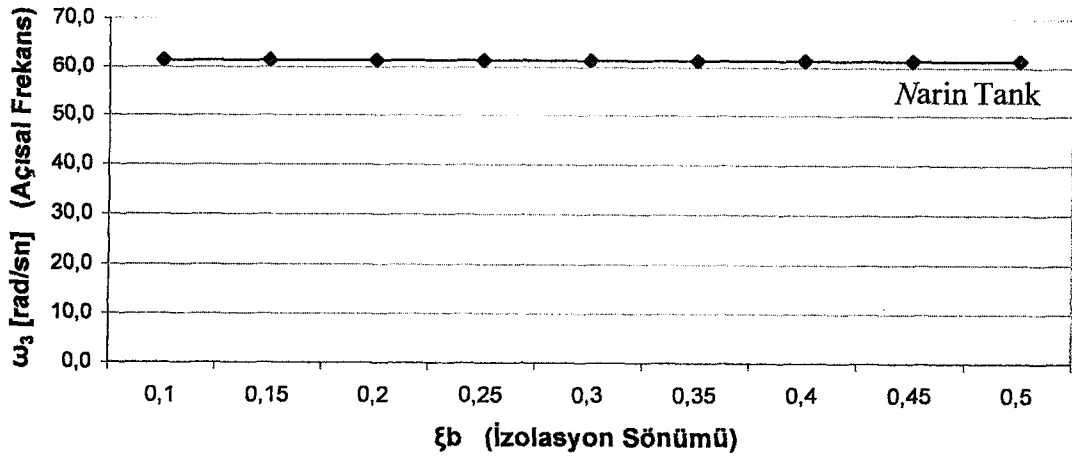
Şekil 3.40. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 3. mod açısal frekansına etkisi (S=0.5, T_b=2.0 sn.).



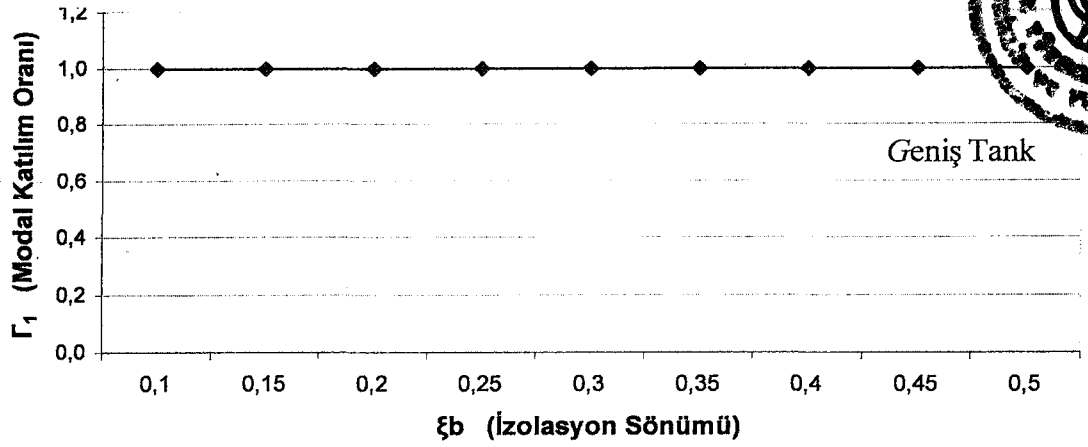
Şekil 3.41. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 1. mod açısal frekansına etkisi
($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.).



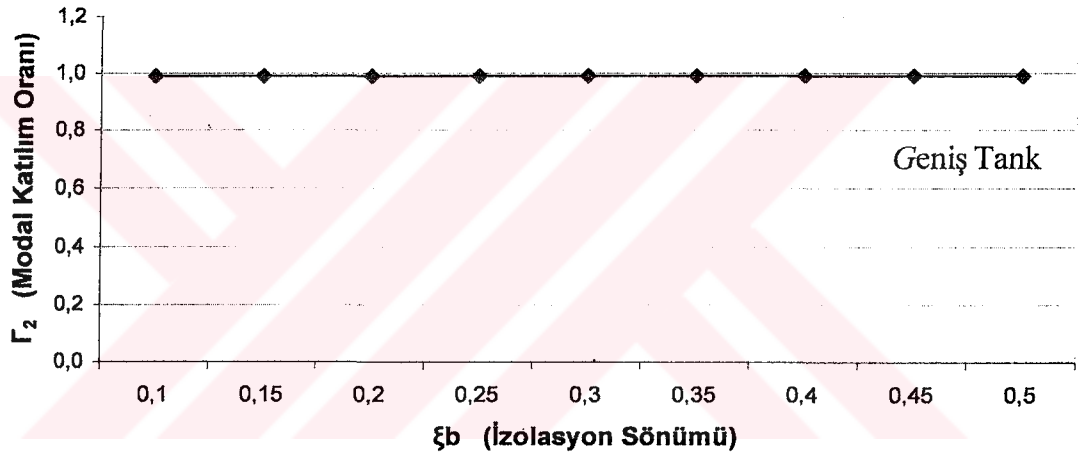
Şekil 3.42. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 2. mod açısal frekansına etkisi
($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.).



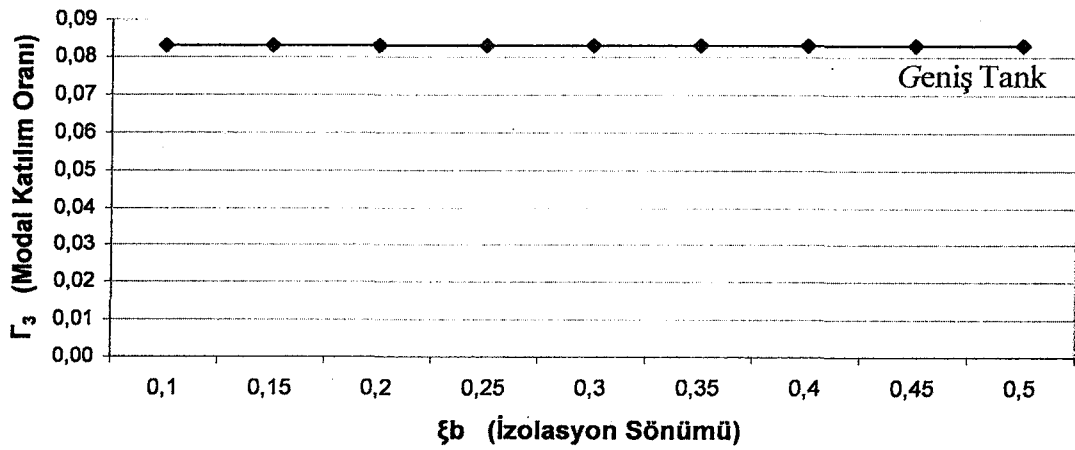
Şekil 3.43. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 3. mod açısal frekansına etkisi
($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.).



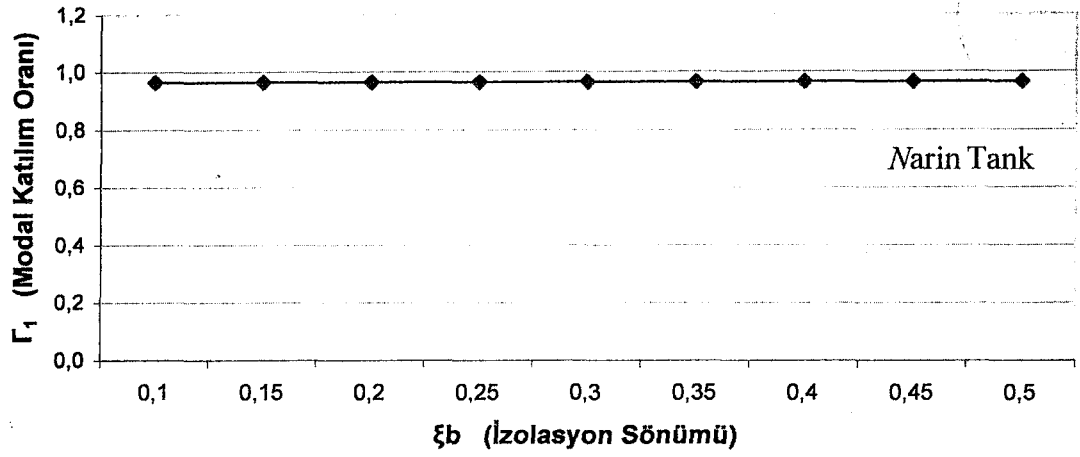
Şekil 3.44. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 1. mod katılım oranına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.).



Şekil 3.45. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 2. mod katılım oranına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.).

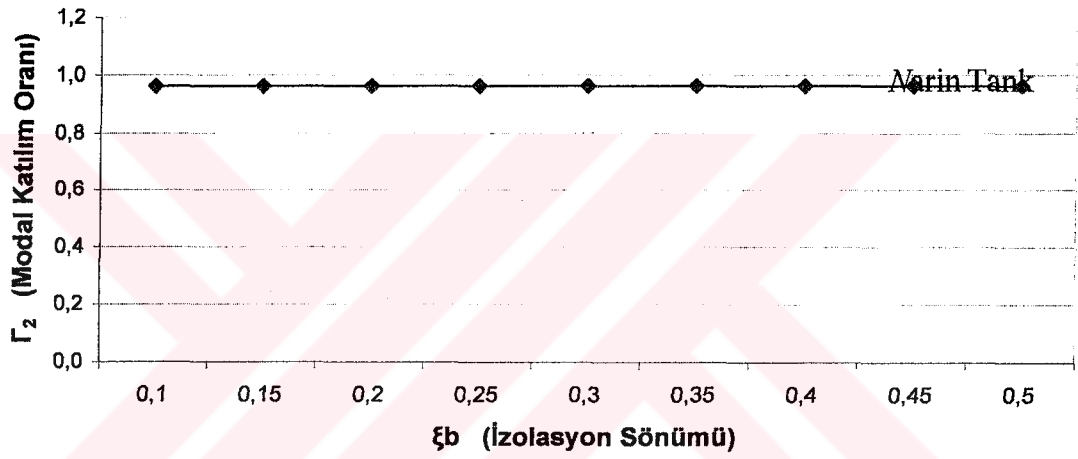


Şekil 3.46. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 3. mod katılım oranına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.).



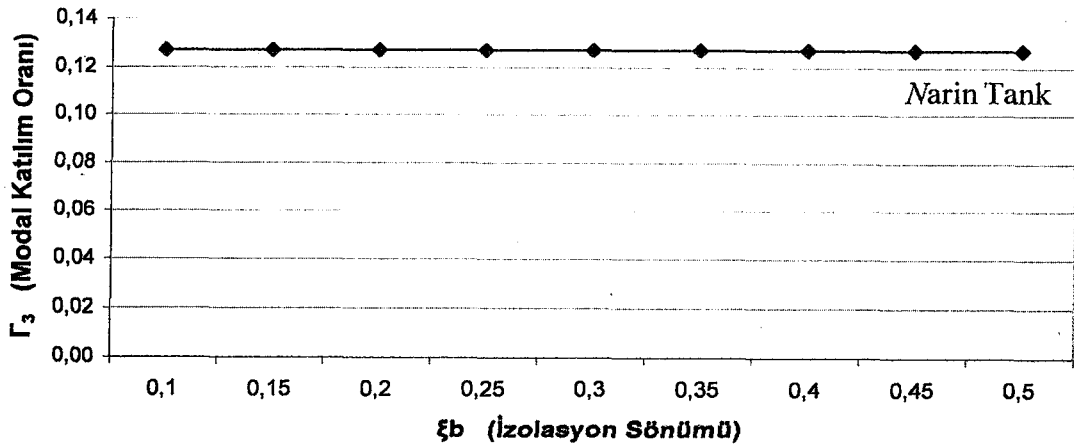
Şekil 3.47. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 1. mod katılım oranına etkisi

($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.).



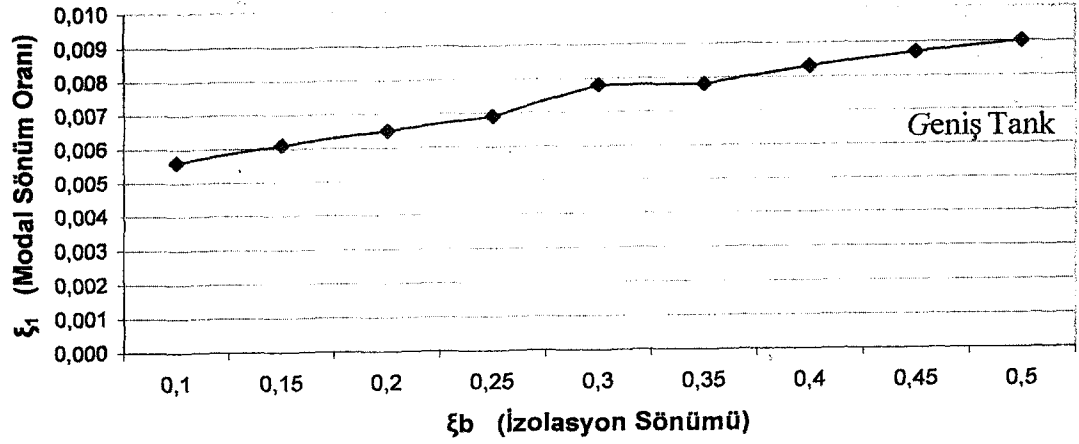
Şekil 3.48. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 2. mod katılım oranına etkisi

($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.).

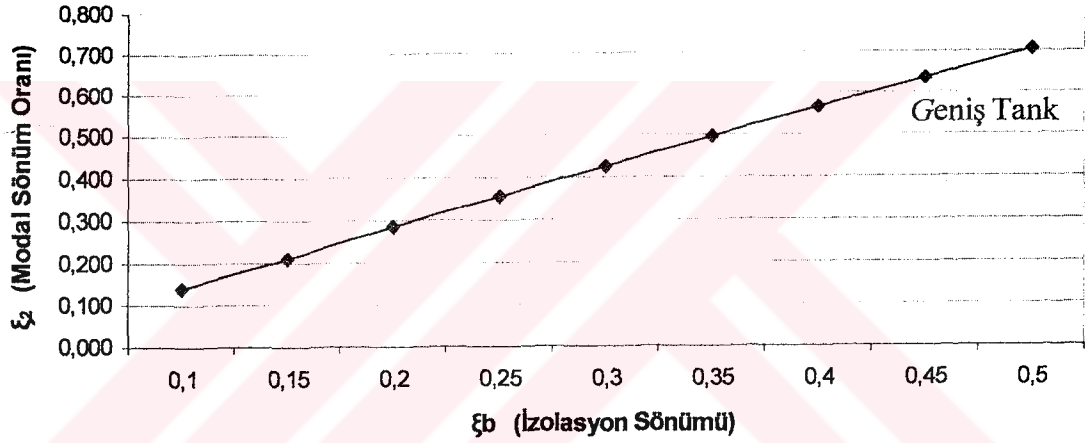


Şekil 3.49. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 3. mod katılım oranına etkisi

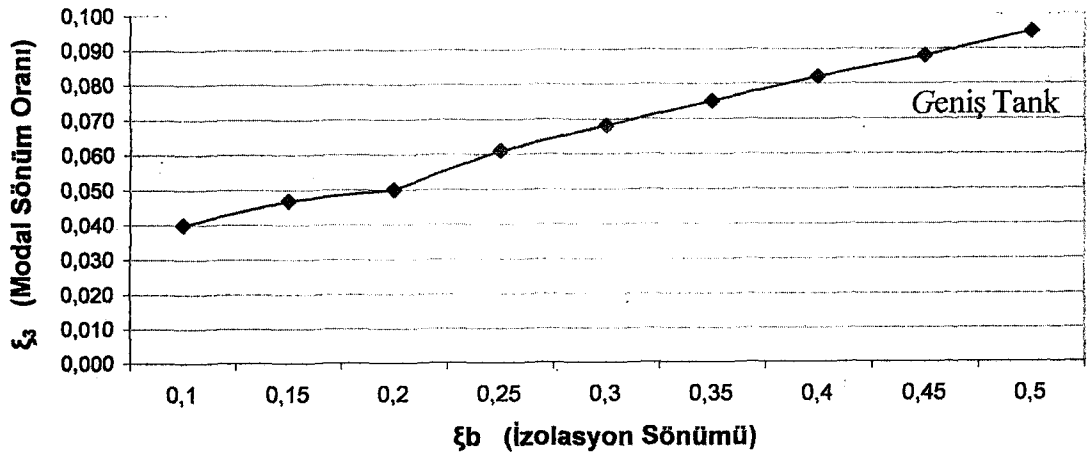
($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.).



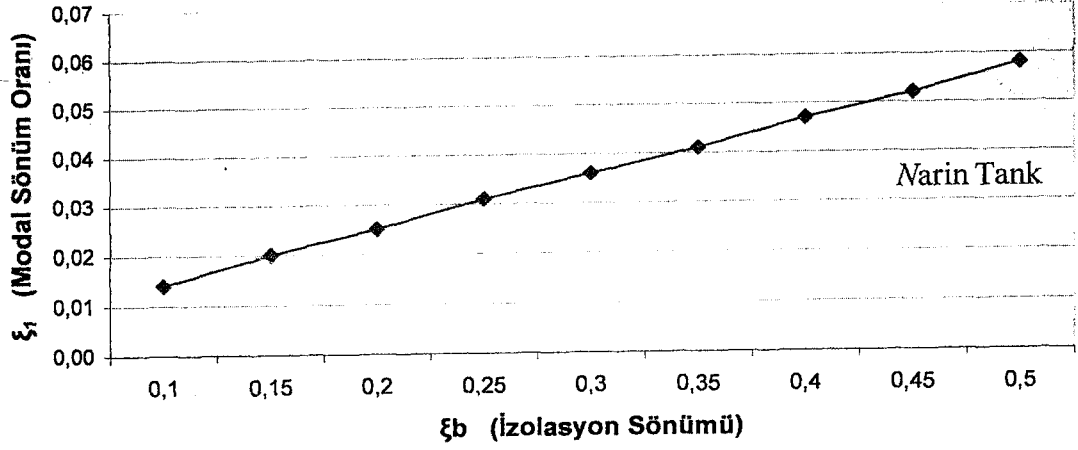
Şekil 3.50. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 1. mod sönüm oranına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.).



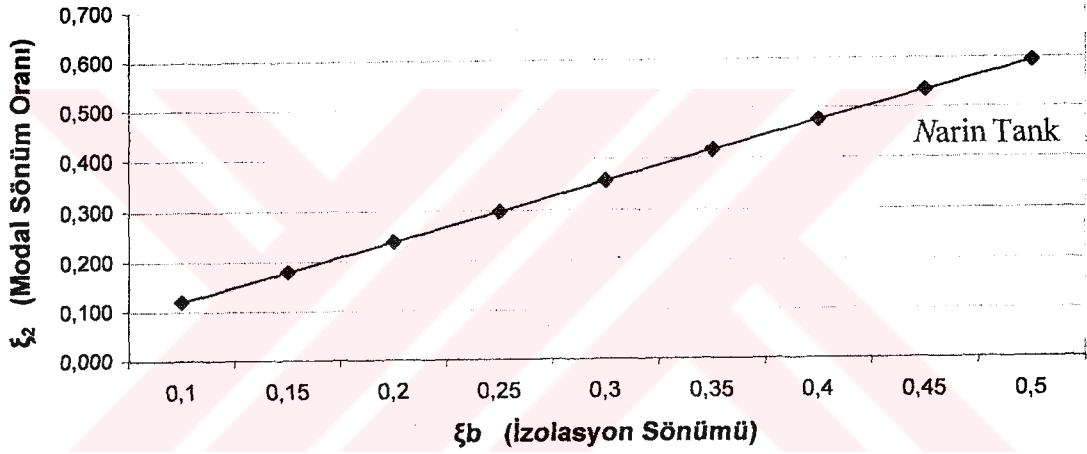
Şekil 3.51. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 2. mod sönüm oranına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.).



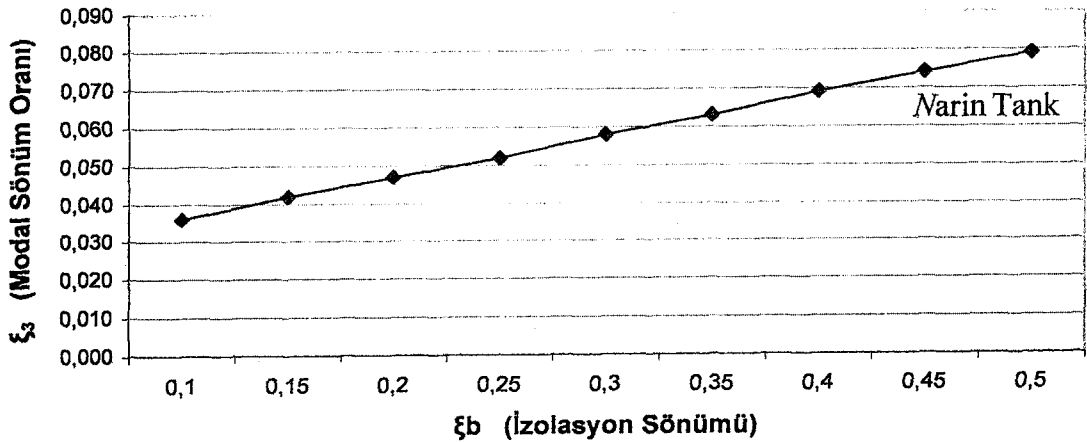
Şekil 3.52. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 3. mod sönüm oranına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.).



Şekil 3.53. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 1. mod sönüm oranına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.).

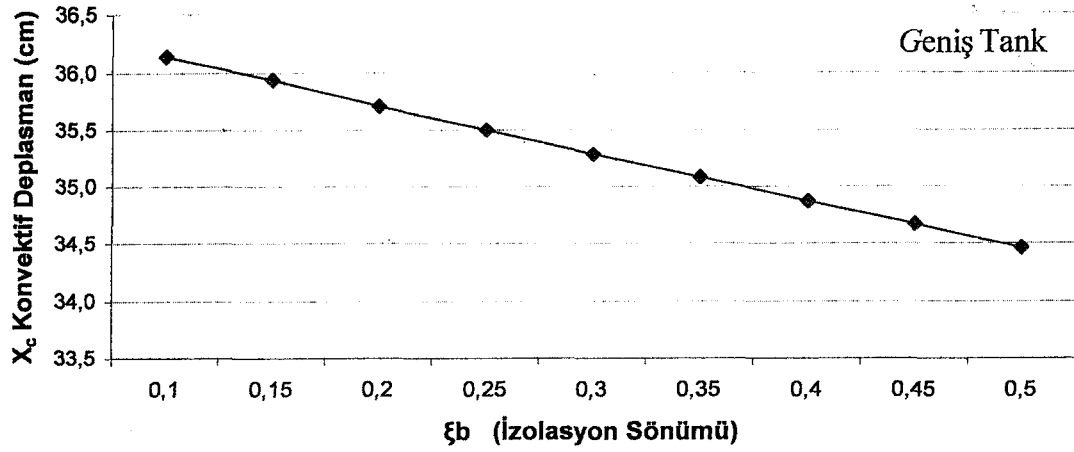


Şekil 3.54. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 2. mod sönüm oranına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.).

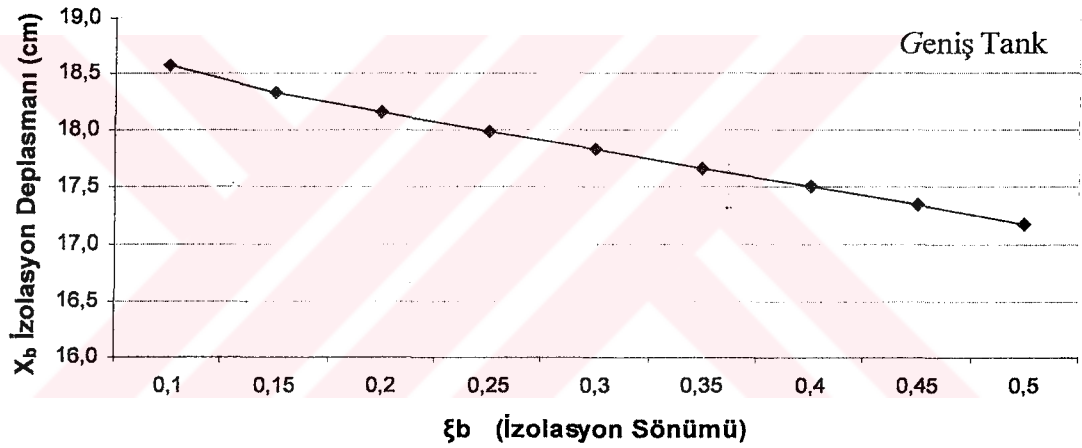


Şekil 3.55. İzolasyon sönüm oranı değişiminin 3. mod sönüm oranına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.).

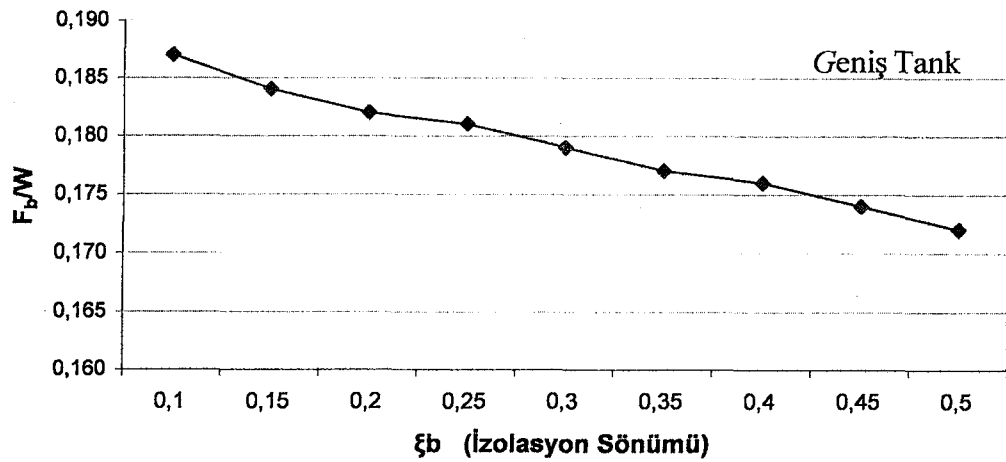
3.3.2. İzolasyon Sönüm Oranı Değişiminin Deprem Davranışına Etkisi



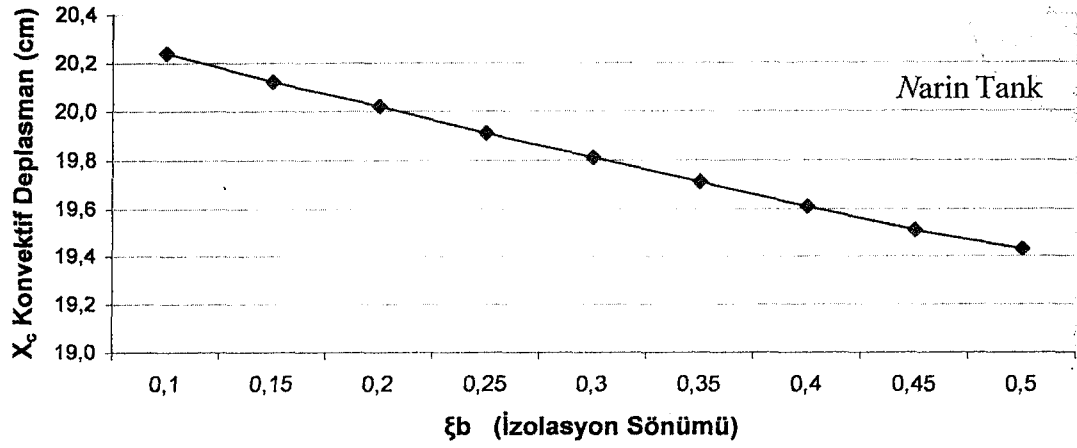
Şekil 3.56. İzolasyon sönüm oranı değişiminin konvektif deplasmana etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.).



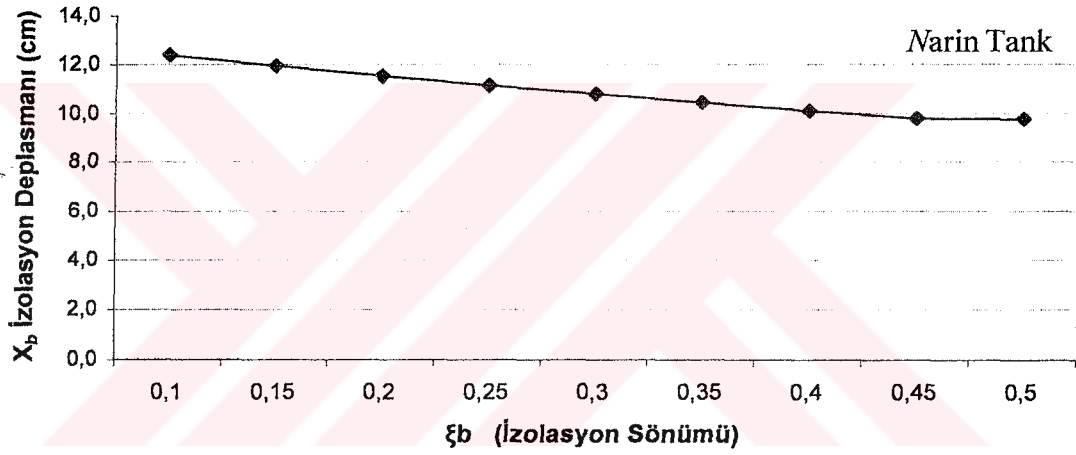
Şekil 3.57. İzolasyon sönüm oranı değişiminin izolasyon deplasmanına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.).



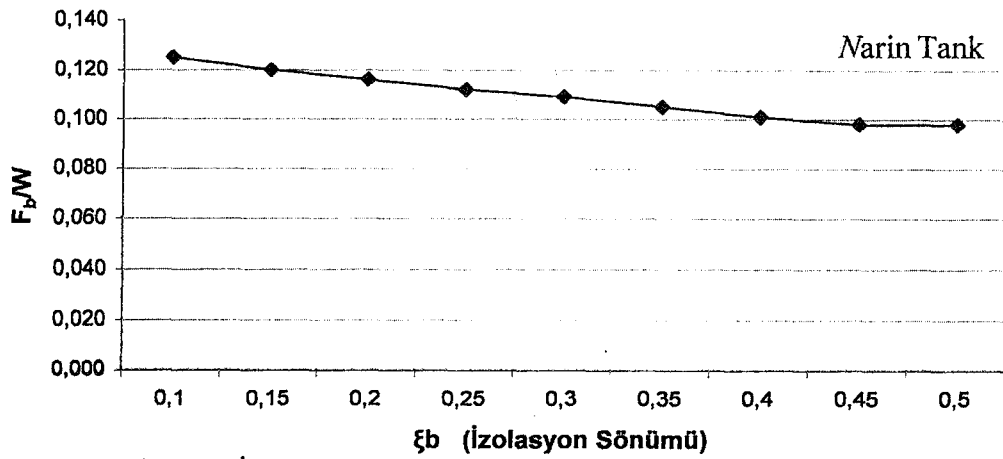
Şekil 3.58. İzolasyon sönüm oranı değişiminin taban kesme kuvveti – tank ağırlığı oranına etkisi ($S=0.5$, $T_b=2.0$ sn.).



Şekil 3.59. İzolasyon sönüm oranı değişiminin konvektif deplasmana etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.).



Şekil 3.60. İzolasyon sönüm oranı değişiminin izolasyon deplasmanına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.).



Şekil 3.61. İzolasyon sönüm oranı değişiminin taban kesme kuvveti – tank ağırlığı oranına etkisi ($S=2.0$, $T_b=2.0$ sn.).

İzolasyon sönüm oranındaki artışa bağlı olarak,

- Geniş ve narin tanklarda açısıl frekans ve modal katılım oranlarında hiçbir değişme meydana gelmemiştir.
- İzolasyon sönüm oranındaki artış, çalkalanma modunda, narin tankların, geniş tanklara nazaran modal sönüm oranını çok daha hızlı arttırmaktadır. (Şekil 3.50), (Şekil 3.53.)
- Hem geniş hemde narin tanklarda izolasyon sönümündeki artış, izolasyon modu sönüm oranını arttırmıştır. (Şekil 3.51), (Şekil 3.54)
- İzolasyon sönüm oranındaki artış, izolasyon deplasmanı ve ona bağlı taban kesme kuvvetinin azalması bakımından narin tanklarda daha fazla etkili olduğu görülmektedir. (Şekil 3.58), (Şekil 3.61)

3.4. Mukabele Spektrumu Yöntemi ile Zaman Tanım Alanında Çözüm Yöntemine Ait Sonuçların Karşılaştırılması

Çizelge 3.1. Farklı izolasyon periyodları için zaman tanım alanında hesap ve mukabele spektrumu yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması ($\xi_b=0.1$).

T_b (sn)	ξ_b	Mukabele	Geniş Tank ($S=0,5$)		Narın Tank ($S=2,0$)	
			3D-BASIS	Mukabele Spektrumu Yöntemi	3D-BASIS	Mukabele Spektrumu Yöntemi
2,0	0,1	X_c (cm)	36,14	36,73	20,22	30,1
		X_b (cm)	18,57	14,43	12,42	11,43
		F_b / W	0,187	0,145	0,125	0,115
2,5	0,1	X_c (cm)	32,89	42,60	21,06	25,68
		X_b (cm)	23,11	20,40	11,71	10,05
		F_b / W	0,148	0,13	0,075	0,065
3,0	0,1	X_c (cm)	46,91	46,84	31,70	36,53
		X_b (cm)	28,09	24,77	20,75	12,85
		F_b / W	0,125	0,111	0,093	0,057
3,5	0,1	X_c (cm)	36,83	50,92	22,78	20,72
		X_b (cm)	25,02	24,88	15,11	13,24
		F_b / W	0,082	0,082	0,049	0,043
4,0	0,1	X_c (cm)	44,42	58,31	21,51	23,83
		X_b (cm)	30,25	27,11	16,23	13,13
		F_b / W	0,076	0,068	0,041	0,033

Geniş ve narın tankların her ikisinde mukabele spektrumu yöntemi kullanılarak yapılan hesapların sonucunda, taban izolasyonlu tanklarda, çalkalanma deplasmanı için daha yüksek değerler elde edilmiştir. Buna karşın, izolasyon deplasmanı ve buna bağlı olarak taban kesme kuvveti – ağırlık oranı değerleri 3D-BASIS'te yapılan hesaplara göre daha düşük çıkmıştır. (Çizelge 3.1.)

Çizelge 3.2. Farklı narinlik oranları için zaman tanım alanında hesap ve mukabele spektrumu yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması ($T_b=2.0$ sn., $\xi_b=0.1$).

S (Narinlik Oranı)	T_b (sn)	ξ_b	Mukabele	3D-BASIS	Mukabele Spektrumu Yöntemi
0,5	2,0	0,1	X_c (cm)	36,14	36,73
			X_b (cm)	18,57	14,43
			F_b / W	0,187	0,145
0,75	2,0	0,1	X_c (cm)	51,76	48,77
			X_b (cm)	19,43	14,21
			F_b / W	0,195	0,143
1	2,0	0,1	X_c (cm)	24,48	33,44
			X_b (cm)	16,56	14,00
			F_b / W	0,166	0,140
1,25	2,0	0,1	X_c (cm)	24,16	28,39
			X_b (cm)	15,67	13,74
			F_b / W	0,158	0,138
1,5	2,0	0,1	X_c (cm)	30,17	30,70
			X_b (cm)	17,09	13,25
			F_b / W	0,172	0,133
1,75	2,0	0,1	X_c (cm)	21,69	30,55
			X_b (cm)	14,25	12,50
			F_b / W	0,143	0,126
2	2,0	0,1	X_c (cm)	20,22	30,10
			X_b (cm)	12,42	11,43
			F_b / W	0,125	0,115

Farklı narinlik oranları ve aynı izolasyon periyodu değerleri için yapılan hesapların sonucunda da benzer şekilde, mukabele spektrumu yöntemi ile elde edilen sonuçlarda çalkalanma deplasmanı daha yüksek, izolasyon deplasmanı ve taban kesme kuvveti – ağırlık oranı değerleri ise daha düşük çıkmıştır. (Çizelge 3.2.)

3.5. Taban İzolasyonlu Sistemler İle Rijit Tabana Oturan Sistemlerin Deprem Mukabelelerinin Karşılaştırılması

Çizelge 3.3. Farklı izolasyon periyodları ve sönümleri için taban izolasyonlu tanklar ile rijit tabana oturan tankların karşılaştırılması.

T _b (sn)	Mukabele	Geniş Tank (S=0,5)			Narin Tank (S=2,0)		
		Taban İzolasyonsuz	Taban İzolasyonlu	Taban İzolasyonlu	Taban İzolasyonsuz	Taban İzolasyonlu	Taban İzolasyonlu
			ξ _b =0.1	ξ _b =0.2		ξ _b =0.1	ξ _b =0.2
2,0	X _c (cm)	19,92	36,14	35,71	26,17	20,22	20,02
	X _b (cm)	-	18,57	18,16	-	12,42	11,53
	F _b / W	0,248	0,187	0,182	0,680	0,125	0,116
2,5	X _c (cm)	19,92	32,89	32,56	26,17	21,06	20,76
	X _b (cm)	-	23,11	22,84	-	11,71	11,28
	F _b / W	0,248	0,148	0,147	0,680	0,075	0,072
3,0	X _c (cm)	19,92	46,91	46,17	26,17	31,70	29,28
	X _b (cm)	-	28,09	27,61	-	20,75	19,13
	F _b / W	0,248	0,125	0,123	0,680	0,093	0,086
3,5	X _c (cm)	19,92	36,83	36,30	26,17	22,78	22,14
	X _b (cm)	-	25,02	24,94	-	15,11	14,61
	F _b / W	0,248	0,082	0,082	0,680	0,049	0,048
4,0	X _c (cm)	19,92	44,42	43,50	26,17	21,51	20,16
	X _b (cm)	-	30,25	29,66	-	16,23	15,24
	F _b / W	0,248	0,076	0,074	0,680	0,041	0,038

Sıvı tanklarında taban izolasyonu uygulanması, özellikle taban kesme kuvveti bakımından değerlendirildiğinde tanka gelen deprem yükünde ciddi bir azalma sağlamaktadır. İzolasyon periyodunun artışı, özellikle yüksek periyod değerlerinde, izolasyon deplasmanının artmasıyla birlikte, taban kesme kuvvetinde hızlı bir azalmayı sağlamıştır. (Çizelge 3.3.) Çalkalanma deplasmanı geniş tanklarda izolasyon yüzünden artma eğilimi gösterirken narin tanklarda ise düşüş yada çok ufak artışlar gösterme eğilimindedir. (Çizelge 3.3.), (Çizelge 3.4.) İzolasyon sönümünün, narin tanklarda, çalkalanma deplasmanı, izolasyon deplasmanı ve taban kesme kuvvetinin azaltılması bakımından daha etkili olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.4. Farklı narinlik oranları ve izolasyon sönümleri için taban izolasyonu tanklar ile rijit tabana oturan tankların karşılaştırılması ($T_b=2.0$ sn.).

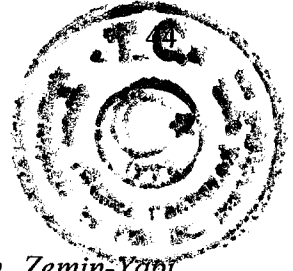
S (Narinlik Oranı)	T_b (sn)	Mukabele	Rijit Tabana Oturan	Taban İzolasyonlu	Taban İzolasyonlu
				$\xi_b=0.1$	$\xi_b=0.2$
0,5	2,0	X_c (cm)	19,92	36,14	35,71
		X_b (cm)	-	18,57	18,16
		F_b / W	0,248	0,187	0,182
0,75	2,0	X_c (cm)	29,25	51,76	51,03
		X_b (cm)	-	19,43	18,74
		F_b / W	0,420	0,195	0,188
1	2,0	X_c (cm)	14,14	24,48	24,35
		X_b (cm)	-	16,56	16,33
		F_b / W	0,509	0,166	0,164
1,25	2,0	X_c (cm)	18,18	24,16	23,93
		X_b (cm)	-	15,67	15,37
		F_b / W	0,610	0,158	0,155
1,5	2,0	X_c (cm)	17,93	30,17	29,11
		X_b (cm)	-	17,09	16,18
		F_b / W	0,640	0,172	0,163
1,75	2,0	X_c (cm)	19,98	21,69	21,34
		X_b (cm)	-	14,25	13,87
		F_b / W	0,657	0,143	0,140
2	2,0	X_c (cm)	26,17	20,22	20,02
		X_b (cm)	-	12,42	11,53
		F_b / W	0,680	0,125	0,116

Tanının narinlik oranı arttıkça taban kesme kuvveti - ağırlık oranı değerlerinde izolasyonsuz ve izolasyonlu durumlar için daha büyük farklar meydana gelmektedir. Taban izolasyonu kullanımı ile birlikte $T_b=2.0$ sn. ve $\xi_b=0.10$ için, rijit tabana oturan bir sisteme göre taban kesme kuvveti - ağırlık oranında geniş tanklar için %25, narin tanklar için %82'lik, $T_b=4.0$ sn. ve $\xi_b=0.10$ için ise, geniş tanklarda %69, narin tanklarda ise %94'lük azalma meydana gelmiştir. (Çizelge 3.3.), (Çizelge 3.4.)



4. SONUÇLAR

- Rijit tabana oturan sıvı tanklarında taban izolasyonu yöntemi kullanılarak, özellikle yüksek izolasyon periyodu değerleri ile tanka gelen deprem yükleri ciddi anlamda azaltılabilir.
- İzolasyon sönümü tek başına pek fazla etkili olmamakla birlikte özellikle yüksek izolasyon periyodu değerlerinde artan izolasyon deplasmanı ve bunun yanında geniş tanklarda izolasyon yüzünden artan çalkalanma deplasmanını azaltmak maksadıyla kullanılabilir.
- Narin tanklarda taban izolasyonu yöntemi daha etkili olmakla birlikte, yalnızca narinlik bakımından değerlendirme yapıldığında geniş ve narin tankların deprem mukabeleleri fazla farklılıklar göstermemektedir.



KAYNAKLAR

1. Anıl K. Chopra, "Dynamics of Structures", Prentice Hall, 1994
2. C. Akturan, "Yatay Yönde Zorlanmış Silindirik Sıvı Tanklarının Zemin-Yapı Etkileşimi Üzerine Bir Çalışma", Yüksek Lisans Tezi, 1996
3. E. Rosenblueth, N.M. Newmark, "Fundamentals of Earthquake Engineering", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1971
4. G.W. Housner, "Dynamic Behavior of water tanks", *Bulletin of the Seismological Society of America* 53 (1963) 381-387
5. H. Naeim, J.M. Kelly, "Design of Seismic Isolated Structures From Theory to Practice", John Wiley & Sons, Inc. 1999
6. <http://peer.berkeley.edu/>, Strong Ground Motion Database, Pacific Engineering
7. J.M. Kelly, "Aseismic base isolation: review and bibliography", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 5, (1986)
8. J.M. Kelly, "Base isolation: linear theory and design", *Earthquake Spectra* 6, (1990) 223-243
9. M. Saatçi, "Sismik Yükler Etkisindeki Silindirik Tanklarda Mod Süperpozisyonu Yöntemi ile Sıvı-Yapı Etkileşimi Problemlerinin Çözümü", Yüksek Lisans Tezi, 1998
10. M.A. Haroun, "Vibration studies and test of liquid storage tanks", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 11 (1983), 179-206
11. M.K. Shriali, R.S. Jangid, "Seismic analysis of base isolated liquid storage tanks", *Journal of Sound and Vibration*, (2003)
12. M.S. Chalhoub, J.M. Kelly, "Shake table test of cylindrical water tanks in base isolated structures", *Journal of Engineering Mechanics, American Society of Civil Engineers* 123 (1), (1997) 1451-1472
13. N.S. Kim, D.G. Lee, "Pseudo-dynamic test for evaluation of seismic performance of base isolated liquid storage tanks", *Engineering Structures* 17 (3) (1995) 198-208
14. P.C. Tsopelas, M.C. Constantinou and A.M. Reinhorn, "3D-BASIS-ME: Computer Program For Nonlinear Dynamic Analysis of Seismically Isolated Single and Multiple Structures and Liquid Storage Tanks", Technical Report NCEER-94-0010, April 12 1994



15. P.K. Malhotra, "Method for seismic base isolation of liquid storage tanks",
Journal of Structural Dynamics 26, (1997) 839-847
16. Z. Celep, N. Kumbasar, "Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş",
1996



ÖZGEÇMİŞ



Doğum Tarihi : 08.10.1978

Doğum Yeri : Üsküdar / İSTANBUL

Lisans : 1996-2000 İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat
Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü
Deprem ve Yapı Bilimleri Anabilim Dalı

