



**BETONARME DÖŞEME SİSTEMLERİNDE
TİTREŞİM SORUNLARININ
İNCELENMESİ**

Deniz UYAN



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME DÖŞEME SİSTEMLERİNDE TİTREŞİM SORUNLARININ
İNCELENMESİ**

Deniz UYAN

Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2018

Her Hakkı Saklıdır.

TEZ ONAY SAYFASI

Deniz UYAN tarafından hazırlanan "Betonaarme Döşeme Sistemlerinde Titreşim Sorunlarının İncelenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN

Başkan : Prof.Dr.Adem Doğangün

İmza

Üye: Prof.Dr.A.Cüneyt Aydın

İmza

Üye:Doç.Dr.Hakan T.Türker

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali BAYRAM

Enstitü Müdürü

9.5.2018 (Tarih)

U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.



20/04/2018

Deniz UYAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi BETONARME DÖŞEME SİSTEMLERİNDE TİTREŞİM SORUNLARININ İNCELENMESİ

Deniz UYAN

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN

Yapılarda en önemli konfor şartlarından biri olan titreşimlerin, tasarım aşamasında dikkate alınarak, projelendirilmenin buna göre yapılması gerekmektedir. Aksi durumda yapıyı kullanan kişilerde huzursuzluk ve rahatsızlık hissi oluşup, yapının kullanım kalitesi düşmektedir. Diğer taraftan malzeme ve yapım teknolojilerindeki yeni gelişmeler, mimari açıdan tercih sebebi olan uzun açıklıklı betonarme döşeme sistemlerinin yapımını mümkün kılmaktadır. Maalesef ülkemizdeki yürürlükte olan standart ve yönetmeliklerde, döşemelerin tasarımlarında titreşim hesabı ile ilgili herhangi bir hesap yaklaşımı önerilmemektedir. Bu çalışmada; döşemelerin, özellikle de betonarme döşemelerin, titreşim hesap yöntemlerinin ve titreşim sorunlarının irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışma altı bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm giriş bölümü olup; ikinci bölümde kuramsal temeller ve kaynak araştırması sunulmaktadır. Üçüncü bölümde, materyal ve yöntemler ile ilgili bilgiler verilmektedir. Üç ayrı döşeme sistemi sayısal uygulamalara konu olmuştur. Birinci uygulamada, örnek olarak seçilen 10m x 10m açıklığında betonarme döşeme sisteminin titreşim hesapları, uluslararası yönetmelikler dikkate alınarak yapılmıştır. İkinci ve üçüncü uygulamalarda, Bursa'da mevcut 26m x 30m açıklığında dikdörtgen ve 40m çapında dairesel betonarme döşeme sistemlerinin titreşim hesapları yapılmış, yerinde titreşim ölçümleri gerçekleştirilmiş ve sonlu elemanlar yöntemiyle sayısal modelleri oluşturularak titreşim problemi incelenmiştir. Döşeme titreşimlerinin insanlar üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiler ve bu etkilerin hissedilebilmesi için gerekli olan eşik değerler üzerinde durulmaktadır. Dördüncü bölümde, örnek üç ayrı döşeme sistemine ilişkin bulgu ve tartışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, genelde ağır ve rijit olmaları nedeniyle betonarme döşeme sistemlerinde göz ardı edilen titreşimlerin, kişi sayısına ve üzerindeki insan hareketlerinin dinamik karakteristiklerine bağlı olarak, rahatsız edici boyutlara ulaşabildiği belirlenmiştir. Bunlara ilişkin sınır değerler sunulmuştur. Bunun yanında uygulamada tasarım yapan mühendislere, betonarme döşemelerin tasarımlarında, titreşim hesaplarına ilişkin kullanabilecekleri, gerekli bağıntılar ve çizelgeler açıklanarak sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Betonarme döşeme; Titreşim, Titreşim ölçümleri

2018, xi+101 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF VIBRATION PROBLEMS IN REINFORCED CONCRETE SLABS

Deniz UYAN

Uludağ University

Graduate School of Natural Science and Applied Science
Department of Civil Engineering

Supervisor: Professor Adem DOĞANGÜN

Vibrations which are one of the most important comfort conditions on the buildings should be taken into consideration in the design phase and the projecting should be done accordingly. Otherwise the feeling of uneasiness and discomfort will be felt by those who use it, and the quality of use will decrease. On the other hand, new developments in material and construction technologies make it possible to construct long-span reinforced concrete flooring systems, which are the architectural choice. Unfortunately, there is no calculation method for vibration analysis in the standards and regulations in our country. The purpose of this study is; to investigate the vibration methods and vibrational problems of the slabs, especially the reinforced concrete slabs. The study which is carried out for this purpose consists of six parts.

The first chapter is introduction, In the second part, theoretical bases and source research are presented. In the third chapter, information about materials and methods are given. Three different flooring systems have been the subject of numerical applications. In the first application, the vibration calculations of reinforced concrete flooring system with 10m x 10m opening selected as an example were made considering international regulations. In the second and third applications, the vibration calculations of rectangular with 26m x 30m openings and 40m diameter circular reinforced concrete flooring systems in Bursa were carried out and in situ vibration measurements were made and the vibration problem was investigated by creating numerical models by using finite element method. The negative effects of floor vibrations on people and the threshold values necessary for these effects to be felt are emphasized. In the fourth chapter, findings and discussions were made about three different slab systems. As a result of the work done, it has been determined that the vibrations observed in reinforced concrete slabs due to their being heavy and rigid in general can reach disturbing dimensions depending on the number of people and the dynamic characteristics of the human movements on them. Boundary values are presented for these. In addition, necessary equations, graphs and tables can be used in the design of reinforced concrete slabs for vibration calculations are presented to design engineers.

Key Words: Reinforced concrete slabs, vibration, vibration measurements

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bilgi ve hoşgörü ile yardımlarını esirgemeyip, bana her konuda yol gösteren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN'e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

İş hayatımın ilk gününden itibaren her konuda bilgi ve deneyimini benimle paylaşan değerli abim Sayın Salih Zeki ÜN'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamdaki katkılarından dolayı İstanbul Teknik Üniversitesi Dr.Öğr.Üyesi Cüneyt VATANSEVER'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Anadolu Üniversitesinden Araş. Gör. Dr. Onur KAPLAN'a , Uludağ Üniversitesinden Araş. Gör. Dr. Cavit SERHATOĞLU'na aletsel ölçümlerdeki katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Yaşamım süresince beni her konuda destekleyen ve inanan çok sevdiğim eşime ve aileme, en içten teşekkürlerimi sunarım.

Varlığı ile tez çalışmamı bitirmem konusunda beni motive eden, biricik canım kızım Kayra Derin UYAN'a uzun, sağlıklı ve mutlu bir ömür diler, teşekkür ederim.

Deniz UYAN

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Betonarme Döşeme Sistemleri.....	3
2.2. Periyot ve Frekans.....	7
2.3. Sönüm.....	8
2.4. Rezonans	8
2.5. Titreşim Ölçüm Yöntemleri	8
2.5.1. Deneysel Modal Analiz Yöntemi.....	8
2.5.2. Operasyonel Modal Analiz Yöntemi	8
2.6. İvmelenme Oranı.....	9
2.7. Döşeme Yükleri	9
2.7.1. Döşemelerin Maruz Kaldığı Statik Yükler	9
2.7.2. Döşemelerin Maruz Kaldığı Dinamik Yükler.....	9
2.8. Kaynak Araştırması.....	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM	14
3.1. Materyal	14
3.1.1. Örnek Olarak Seçilen 1.Döşeme Sisteminin Tanıtılması.....	14
3.1.2. Örnek Olarak Seçilen 2.Döşeme Sisteminin Tanıtılması.....	16
3.1.3. Örnek Olarak Seçilen 3.Döşeme Sisteminin Tanıtılması.....	19
3.2. Yöntem.....	24
3.2.1. Döşeme Titreşimleri Hesap Yöntemleri ve Yönetmelik Hükümleri.....	24
3.2.1.1. Döşeme Titreşimleri ile ilgili Yönetmelik ve Standartlar	24
3.2.1.2.Yapısal Tasarım İçin Kriterler	32
3.2.2. Birinci Döşeme Sistemine İlişkin Hesaplar	33

3.2.2.1. Yönetmelik Hükümleri Dikkate Alınarak Yapılan Hesaplar	33
3.2.2.2. Sonlu Elemanlar Modelleriyle Yapılan Hesaplar	36
3.2.3. İkinci Döşeme Sistemine İlişkin Hesaplar	38
3.2.3.1.Yönetmelik Hükümleri Dikkate Alınarak Yapılan Hesaplar	46
3.2.3.2. Döşeme Mod Şekilleri	51
3.2.3.3. Döşeme Sistemine İlişkin Yapılan Ölçümler.....	52
3.2.3.4.Sonlu Elemanlar Modelleriyle Yapılan Hesaplar	64
3.2.4. Üçüncü Döşeme Sistemine İlişkin Hesaplar	65
3.2.4.1.Yönetmelik Hükümleri Dikkate Alınarak Yapılan Hesaplar	67
3.2.4.2. Döşeme Mod Şekilleri	69
3.2.4.3. Döşeme Sistemine İlişkin Yapılan Ölçümler.....	73
3.2.4.4.Sonlu Elemanlar Modelleriyle Yapılan Hesaplar	76
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	78
4.1. Örnek Olarak Seçilen 1.Döşeme Sistemine İlişkin Bulgu ve Tartışmalar	78
4.2. Örnek Olarak Seçilen 2.Döşeme Sistemine İlişkin Bulgu ve Tartışmalar	78
4.3. Örnek Olarak Seçilen 3.Döşeme Sistemine İlişkin Bulgu ve Tartışmalar	79
5. SONUÇ.....	81
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ.	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler Açıklamalar

- a_o/g : Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen sınır değer (Şekil 4.1)
- a_p/g : Yerçekimi ivmesinin bir kısmı olarak tahmini pik ivme, (g biriminde)
- E_s : Sistem malzemesinin elastisite modülü
- f : Tahrik frekansı ($=i \cdot f_{step}$, f_{step} : adım frekansı)
- f_n : Döşeme sisteminin doğal frekansı, Hz
- $(f_n)_{req'd}$: Döşeme sisteminin minimum doğal frekansı, Hz
- g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2 biriminde, $9,86 m/s^2$)
- I_t : Dönüştürülmüş atalet momenti, eğer kayma deformasyonları dikkate alınmıyorsa etkili dönüştürülmüş (transformed) atalet momenti
- P_o : Sabit Kuvvet (*döşemede yürüyen 0,7 kN luk bir kişi için 0,29 kN öngörülmektedir*)
- β : Modal sönümleme oranı
- W : Döşeme sisteminin ağırlığı, kN
- w_p : Döşeme üzerinde dağılmış katılımcıların birim alandaki etkili ağırlığı
- w_t : Döşeme birim alandaki etkili ağırlık (alanda bulunan kişiler dahil)
- w : Birim uzunluk için üniform yük
- Δ : Kiriş açıklığının orta noktasında meydana gelen sehim

Kısaltmalar Açıklamalar

AISC	: American Institute of Steel Construction
CRSI	: Design Guide for Vibrations of Reinforced Concrete Floor Systems
LRFD	: Load and Resistance Factor Design
TS 498	: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
CSA	: Canadian Standard Association
BSI	: British Standard Institute
EN	: European Norms



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kirişli döşemeler.....	3
Şekil 2.2. Kirişsiz Döşemeler.....	4
Şekil 2.3. Bir doğrultuda dişli döşemeler.....	5
Şekil 2.4. İki doğrultuda dişli döşemeler	6
Şekil 2.5. Dinamik yüklemeler	10
Şekil 3.1. Örnek Model 1 Betonarme Döşeme	14
Şekil 3.2. Döşeme yükleri görünümü (Kaplama, Zati Yük)	15
Şekil 3.3.Döşeme yükleri görünümü (Hareketli Yük)	16
Şekil 3.4. İkinci örnek döşemenin altında bulunan davet salonu görünümü	17
Şekil 3.5. İkinci örnek döşemenin üstünde bulunan etkinlik alanının görünümü.....	17
Şekil 3.6. İkinci örnek döşemenin kalıp planı görünümü	18
Şekil 3.7. İkinci örnek döşeme sisteminin kirişlerinin kesit çizimi	19
Şekil 3.8. Panorama 1326 nın mimari projesinden görünüm 1	20
Şekil 3.9. Panorama 1326 nın mimari projesinden görünüm 2.....	20
Şekil 3.10. Panorama 1326 statik proje görünüm 1	21
Şekil 3.11. Panorama 1326 statik proje görünüm 2	21
Şekil 3.12. Panorama 1326 statik proje görünüm 3	22
Şekil 3.13. Panorama 1326 statik proje görünüm 4	22
Şekil 3.14.Panorama 1326 statik proje görünüm 5	23
Şekil 3.15. Statik proje kalıp planı	23
Şekil 3.16.Statik proje kiriş kesit çizimi	24
Şekil 3.17. İvme eşikleri.....	29
Şekil 3.18. Döşeme Sehim Değerleri Görünümü (kalıcı yükler için)	33
Şekil 3.19. Birinci örnek döşemenin ETABS modelinin görünümü.....	36
Şekil 3.20. Birinci örnek döşemenin ETABS modeli veri girişi görünümü	37
Şekil 3.21.ETABS programı titreşim hesabı sonuçları	37
Şekil 3.22. İkinci örnek döşemenin ETABS modeli 3D görünümü.....	38
Şekil 3.23. İkinci örnek döşemenin ETABS modeli plan görünümü.....	39
Şekil 3.24. İkinci örnek döşemeye etkileyen kalıcı yükler (sabit Yük)	39
Şekil 3.25. İkinci örnek döşemeye etkileyen hareketli yükler	40
Şekil 3.26. İkinci örnek döşemede hesaplanan moment diyagramı	40

Şekil 3.27. Döşeme ana kirişinde elde edilen kesme, moment ve deplasman diyagramı	41
Şekil 3.28. Donatı hesabı sonuçları.....	42
Şekil 3.29. Kiriş 40x120 Donatı hesabı sonuçları.....	43
Şekil 3.30. Kiriş 40 x 120 x 180 Donatı hesabı sonuçları.....	44
Şekil 3.31. Döşeme sehım değerleri görünümü (kalıcı yükler altında).....	45
Şekil 3.32. Döşeme sehım değerleri görünümü (hareketli yükler altında)	45
Şekil 3.33. Döşeme sehım değerleri görünümü (Döşeme ve Kaplama Ağırlılığı).....	45
Şekil 3.34. SAP2000 programından alınan doğal titreşim frekans değeri $f_n = 4.6$ Hz...	48
Şekil 3.35. Mod 1 $f=4.62$ Hz.....	51
Şekil 3.36. Mod 2 $f=5.28$ Hz.....	51
Şekil 3.37. Mod 3 $f=6.52$ Hz.....	51
Şekil 3.38. Mod 4 $f= 8.17$ Hz.....	52
Şekil 3.39. Mod 5 $f= 9.96$ Hz.....	52
Şekil 3.40. İvme ölçerlerin döşeme üzeri yerleşim planı	53
Şekil 3.41. CMG-5TCDE ve KB12VD ivme ölçerlerinin yerleşimi genel görünümü ...	54
Şekil 3.42. Seramik kaplama üzerine yerleştirilen CMG-5TCDE ivme ölçer kullanımı	54
Şekil 3.43. Uygulama 2 için 10Hz, 25 Hz ve 50 Hz için zaman alanında z doğrultusu real, g verileri	55
Şekil 3.44. Uygulama 2 için 10Hz, 25 Hz ve 50 Hz için Z doğrultusu güç spektrumları	56
Şekil 3.45. Uygulama 2 için 10Hz, 25 Hz ve 50 Hz için z doğrultusu frekans-ivme genlikleri	56
Şekil 3.46. Uygulama 2 için 10Hz için Fourier genlik- frekans grafiği.....	57
Şekil 3.47. Uygulama 2 için 25 Hz için Fourier genlik- frekans grafiği.....	57
Şekil 3.48. Uygulama 2 için 50 Hz için Fourier genlik- frekans grafiği.....	58
Şekil 3.49. Uygulama 2 için 10 Hz için tepki ivmesi- frekans grafiği.....	58
Şekil 3.50. Uygulama 2 için 25 Hz için tepki ivmesi- frekans grafiği.....	59
Şekil 3.51. Uygulama 2 için 50 Hz için tepki ivmesi- frekans grafiği.....	59
Şekil 3.52. Tüm ivme ölçerler tarafından elde edilen kayıtların görünümleri.....	60
Şekil 3.53. x yönü spektral yoğunluk fonksiyonu.....	61
Şekil 3.54. Y yönü spektral yoğunluk fonksiyonu.....	61

Şekil 3.55. İvme _{1_z} yönü spektral yoğunluk fonksiyonu.....	62
Şekil 3.56. İvme _{2_z} yönü spektral yoğunluk fonksiyonu.....	62
Şekil 3.57. İvme _{3_z} yönü spektral yoğunluk fonksiyonu.....	63
Şekil 3.58. İvme _{4_z} yönü spektral yoğunluk fonksiyonu.....	63
Şekil 3.59. ETABS programı titreşim hesabı veri girişi parametreleri	64
Şekil 3.60. ETABS programı titreşim hesabı sonuçları	64
Şekil 3.61. Yapının ETABS model görünümü.....	65
Şekil 3.62. Uygulamaya konu olan döşemenin ETABS model görünümü.....	65
Şekil 3.63. Döşeme sehimi görünümü (Döşeme+Kaplama Yüğü) , Maksimum sehimi= 37 mm	66
Şekil 3.64. Döşeme sehimi görünümü (Döşeme Yüğü).....	66
Şekil 3.65. Mod 1 f=2.09 Hz.....	69
Şekil 3.66. Mod 2 f=2.98 Hz.....	70
Şekil 3.67. Mod 3 f=4.38 Hz.....	70
Şekil 3.68. Mod 4 f=5.01 Hz.....	70
Şekil 3.69. Mod 5 f=5.71 Hz.....	71
Şekil 3.70. Kirişli döşeme sisteminde elde edilen döşeme moment diyagramı	71
Şekil 3.71. Eğilme momenti için gerekli kiriş donatı alanları.....	72
Şekil 3.72. Ana kirişe ait kesit etkileri ve tasarım sonuçları	73
Şekil 3.73. 6J99 Spektral Yoğunluk Fonksiyonu.....	74
Şekil 3.74. 6K00 Spektral Yoğunluk Fonksiyonu	74
Şekil 3.75. 6K06 Spektral Yoğunluk Fonksiyonu	75
Şekil 3.76. 6K09 Spektral Yoğunluk Fonksiyonu	75
Şekil 3.77. 6K15 Spektral Yoğunluk Fonksiyonu	76
Şekil 3.78. ETABS programı titreşim hesabı veri girişi parametreleri	76
Şekil 3.79. ETABS programı titreşim hesabı sonuçları	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Yaygın olarak kullanılan tahrik frekansları (f)ve dinamik katsayılar (α_i)	25
Çizelge 3.2. AISC Desing Guide 11'e göre ritmik hareketler için tahmini yük değerleri (Murray ve diğ. 2003).	27
Çizelge 3.3. AISC Desing Guide 11'e göre ritmik hareketler için tavsiye edilen yük ve frekans değerleri (Murray ve diğ. 2003).	28
Çizelge 3.4. AISC Desing Guide 11'e göre tavsiye edilen yük, sönümleme oranı ve ivmelenme limiti değerleri (Murray ve diğ. 2003).....	31
Çizelge 3.5. Döşeme açıklıklarına ve sönüm oranlarına göre frekans ve ivmelenme oranları değişimi gösterilmiştir.	32
Çizelge 4.1. Teras döşemesinin düşey doğrultudaki titreşim periyotları	79
Çizelge 4.2. İkinci Uygulama Binası için belirlenen sönüm oranları	79

1. GİRİŞ

Yapısal tasarım; yapının fonksiyonuna göre, güvenlik ve konfor şartlarının sağlanması olarak iki ana bölümden oluşmaktadır. Bir sıvı deposu, ya da nükleer tesis için sızdırmazlık nasıl ön plana çıkıyorsa, özellikle bina türü yapılarda, konfor şartlarını etkileyen en önemli parametrelerden biri de döşemelerde meydana gelen titreşimlerdir. Konutlar, okullar, işyerleri, eğlence merkezleri, ibadethaneler ve spor salonları gibi birçok bina, çeşitli düzeylerde insan hareketlerine maruz kalmaktadır. Dolayısıyla bu yapıların döşemeleri, insan hareketlerinden kaynaklanan ritmik yüklere maruz kalmaktadır. Bina; bir fabrika binası ise, insan hareketlerinden ziyade, çalışan makinelerin oluşturduğu, bir otopark ise içinde hareket eden araçların oluşturduğu titreşimlere maruz kalmaktadır. Şayet yapı hassas ekipmanlar içeren ileri teknoloji yapıları, hastaneler ve laboratuvarları içeriyorsa titreşim çok daha önemli boyuta geçmekte, konfor sınır koşulunu aşarak can ve mal kaybına yol açan olaylara bile neden olabilmektedir. Bu yapılar için kullanım yükleri altında taşıyıcı yatay elemanlarda oluşan sehimler yanısıra, bu elemanlarda dinamik yükler nedeni ile oluşan titreşimler de yapının işlevini ve kullanılabilirliğini etkilemektedir. Bunlardan dolayı döşemelerdeki titreşim konusunun irdelenmesi ve yapının kullanılabilirlik durumunun belirlenmesi önemlidir.

Yapım teknolojilerindeki gelişmeler daha uzun açıklıklı ve daha ince döşemelerin tasarlanmasına imkan tanımaktadır. Dolayısıyla rijitliği daha az olan bu esnek yapı sistemleri; makine ve insan hareketlerinden kaynaklanan dinamik etkilere ve titreşim hareketine daha duyarlı hale gelmektedir. Ritmik yükler altındaki yapılardaki titreşim sorunu; yapı taşıyıcı sistemini oluşturan elemanlardan olan döşemelerde daha çok, kısmen de kirişlerde hissedilmektedir. Döşeme sisteminin kirişli döşeme olması durumunda, döşemeler mesnetlendikleri kirişlerle beraber dinamik yüklere tepki olarak titreşmektedir.

Tarih boyunca titreşim hareketinin yapılarda rezonans tehlikesine neden olabileceği bilinmesine rağmen, bu konuyla ilgili çalışmalar nispeten yakın zamanda başlamıştır. Avrupa ve Amerika'da kullanılan tasarım kılavuzlarında titreşim hareketini kısıtlamak için hesap yöntemleri ve sınır değerler, yönetmeliklerde/kılavuzlarda önerilmesine rağmen, ülkemizde titreşim konusu ile ilgili herhangi bir hesap yöntemi

yönetmeliklerimizde yer almamaktadır. Betonarme yapıların hesap ve tasarımıyla ilgili standardımız olan TS500 de betonarme yapılar için sadece' ***aşırı titreşime neden olmayacak biçimde boyutlandırılıp donatılması gerekir***' ifadesi yer almaktadır.

Bunun yanında titreşim konusuyla ilgili olarak yapılan çalışmalar ve hazırlanan klavuzlar/standartlar/yönetmelikler de daha çok çelik döşeme sistemleri için hazırlanmıştır. Betonarme döşeme sistemlerinin titreşimlerine ilişkin yapılan çalışmalar, çelik döşeme sistemleri için yapılan çalışmalara oranla yok denecek kadar azdır. Diğer taraftan kullanım sınır durumu olarak daha az önem gören titreşim sorunu, maalesef daha ileri boyutlara giderek, gerek rezonans gerekse yorulma gibi olaylar sonucunda yapıların hasar görmesine ya da yıkılmasına da neden olabilmektedir. Özellikle sürekli makine ve gezen araçların titreşimlerine maruz kalan fabrika binalarında, bu durum daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

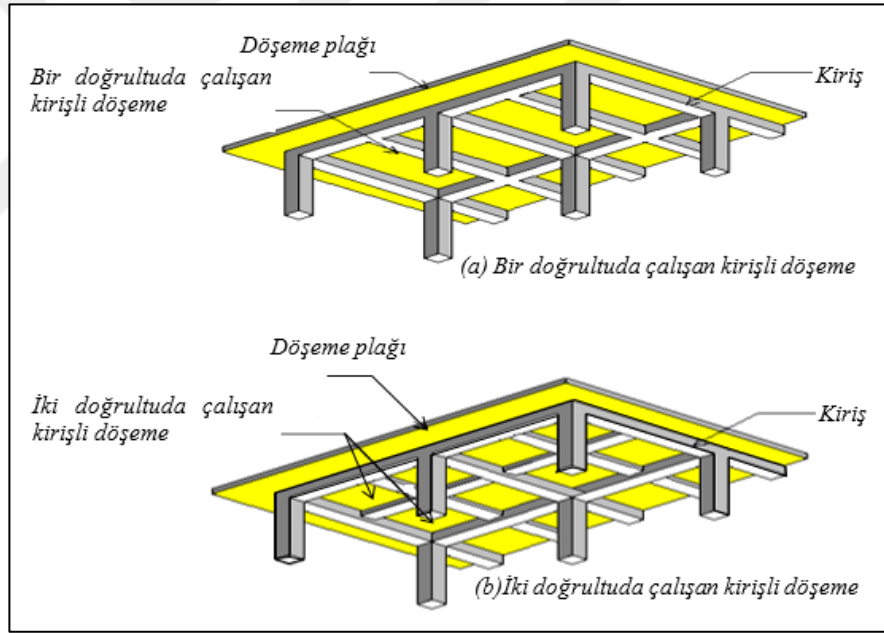
Betonarme döşemelerin titreşim hesabında adı geçen ve davranışın belirlenmesinde etkili olan parametreler aşağıda öz olarak açıklanmaktadır.

2.1. Betonarme Döşeme Sistemleri

Kalınlığı, diğer iki boyutuna göre çok küçük olan ve düzlemine dik doğrultuda yüklenmiş taşıyıcı elemanlara plak adı verilmektedir. Döşeme terimi kirişli ve kirişsiz döşemelerde, sadece döşeme plağını, dişli döşemelerde ise plakla birlikte dişleri (küçük kirişleri) de kapsayacak şekilde kullanılmaktadır (Doğangün 2017).

Kirişli döşemeler;

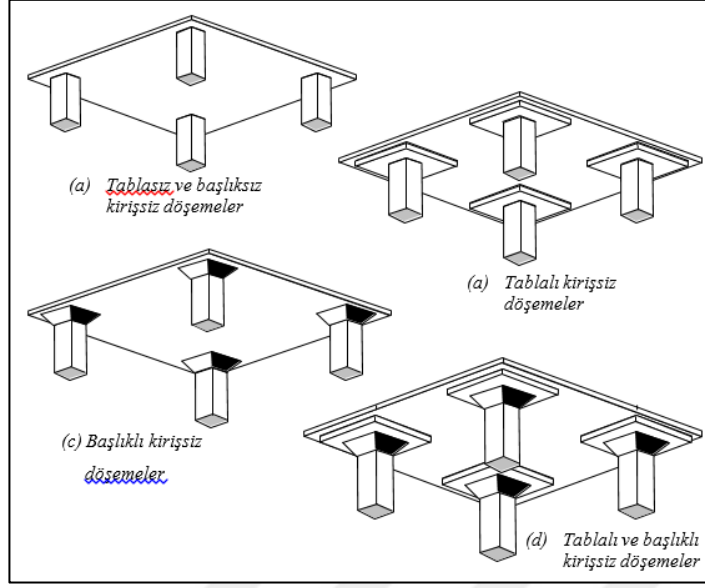
- Bir doğrultuda çalışan kirişli döşemeler (Şekil 2.1a)
- İki doğrultuda çalışan kirişli döşemeler (Şekil 2.1b)



Şekil 2.1. Kirişli döşemeler (Doğangün 2017)

Kirişsiz döşemeler;

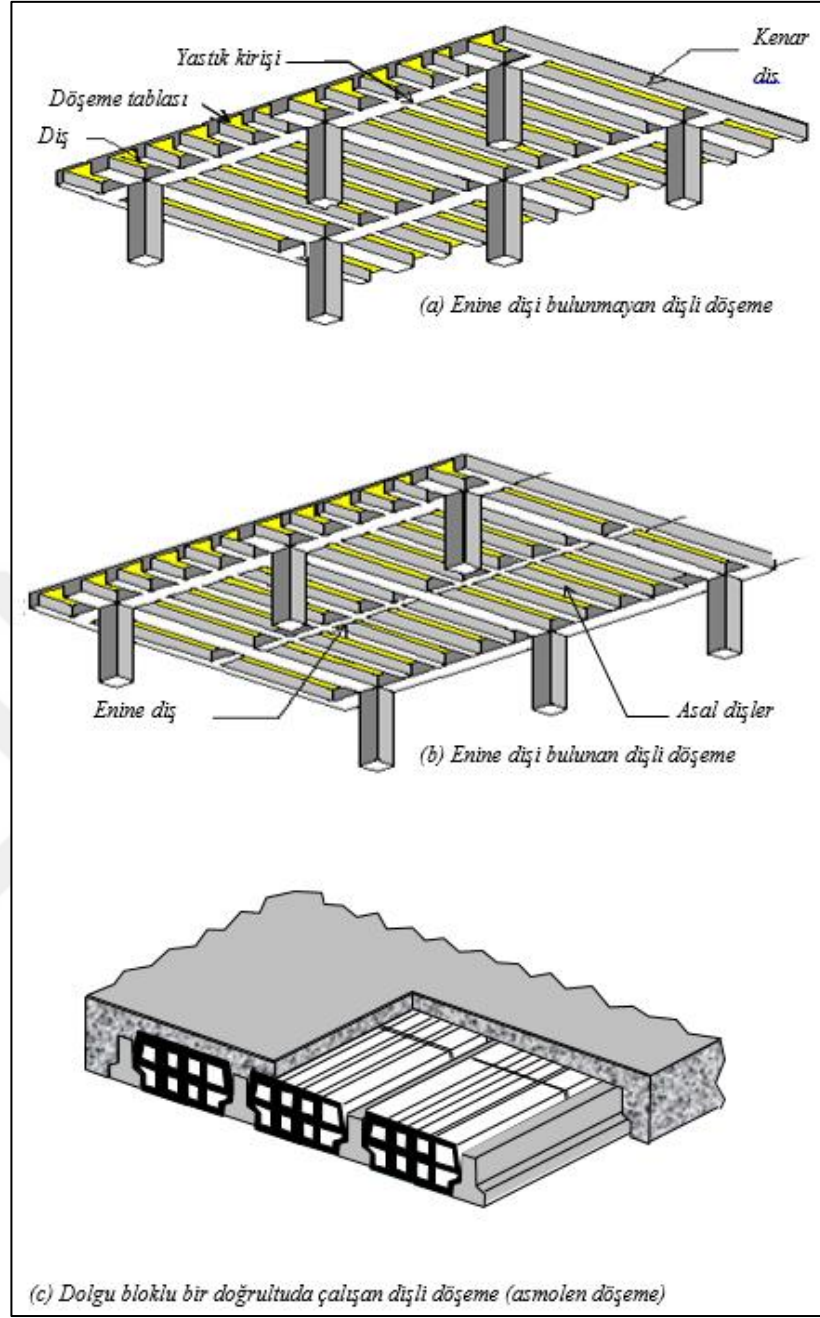
- Tablasız ve başlıksız kirişsiz döşemeler (Şekil 2.2a)
- Tablalı kirişsiz döşemeler (Şekil 2.2b)
- Başlıklı kirişsiz döşemeler (Şekil 2.2c)
- Başlıklı ve tablalı kirişsiz döşemeler (Şekil 2.2d)



Şekil 2.2. Kirişsiz Döşemeler (Doğangün 2017)

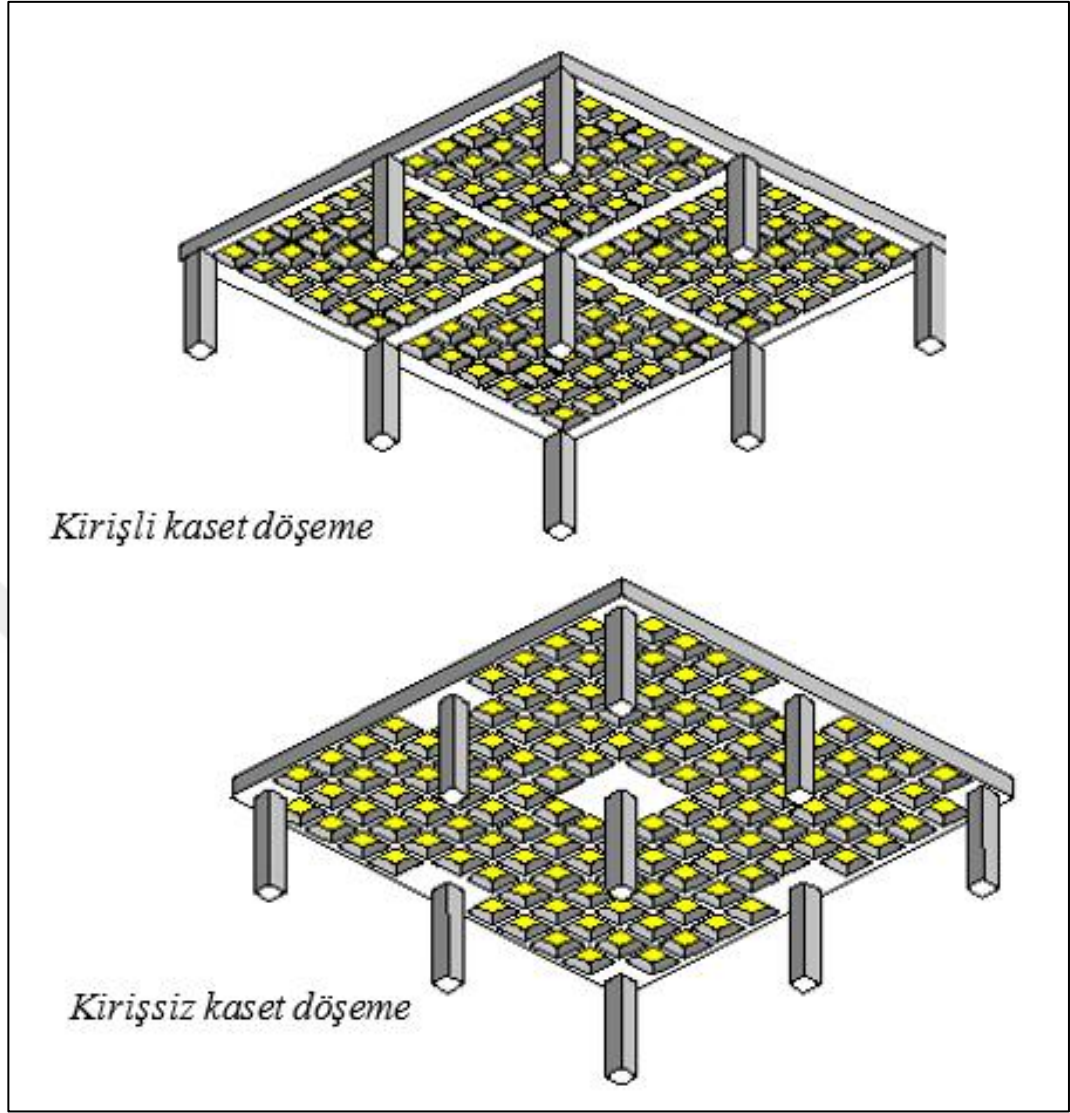
Bir doğrultuda dişli döşemeler;

- Enine dişi bulunmayan dolgusuz dişli döşeme (*nervürlü döşeme*, Şekil 2.3a)
- Enine dişi bulunan dolgusuz dişli döşeme (*nervürlü döşeme*, Şekil 2.3b)
- Dolgu bloklu dişli döşeme (*asmolen döşeme*, Şekil 2.3c)



Şekil 2.3. Bir doğrultuda dişli döşemeler (Doğangün 2017)

İki doğrultuda dişli döşemeler; (kaset döşemeler, Şekil 2.4a)



Şekil 2.4. İki doğrultuda dişli döşemeler (Doğangün 2017)

Yukarıda belirtilmiş olan döşeme sistemlerinden kirişli döşemelerde titreşim sorunlarıyla daha yaygın karşılaşıldığı ifade edilebilir. Ancak yukarıda belirtilen 3 ana sınıf döşeme de bazı yönlerden daha avantajlı olabilmektedir. Döşeme sisteminin seçiminde, mühendisler karar vermelerinde etkili olan başlıca parametreler aşağıda sunulmaktadır:

- (1) Bölgenin depremselliği,
- (2) Döşemenin maliyeti,
- (3) Geçilecek açıklık miktarları
- (4) Etkiyecek yükün miktarı ve çeşidi,

- (5) Yapının kullanım amacı,
- (6) Kullanım değişikliklerine uyumu,
- (7) Yapının plan geometrisi,
- (8) Taşıyacağı eşya ve cihazların hassasiyeti,
- (9) Teknik personelin bilgi ve becerisi,
- (10) Konsol döşemelerin varlığı,

Döşemelerin tasarımında da diğer betonarme elemanlarda olduğu gibi taşıma gücü ve kullanılabilirlik sınır durumları dikkate alınmaktadır. Ancak, hasar görmüş yapılar üzerinde yapılan incelemeler, döşemelerde taşıma gücü açısından genelde sorunla karşılaşmadığını, karşılaşılan problemlerin çoğunun kullanılabilirlik sınır durumuyla ilgili olduğunu ortaya koymuştur. Diğer bir deyişle, döşemelerde sorun genel olarak, aşırı sehim (çökme), titreşim ve çatlama kaynaklanmaktadır (Doğangün 2017). **Aşırı sehim ve titreşim doğrudan döşeme kalınlığı ile, aşırı çatlama ise donatı ile ilişkilidir.** Döşemelerde kullanılabilirlik sınır durumu genelde etkili olsa da, iki doğrultuda çalışan çok büyük açıklıklı döşemelerde taşıma gücü sınır durumunun da kritik olabileceğini belirtmekte yarar vardır.

Gerçekleştirilen bu tez kapsamında da yukarıda açıklanan döşeme sitemlerinden, kirişli betonarme döşemeler için kullanılabilirlik sınır durumuyla ilgili aşırı titreşim durumu incelenecektir.

Aşağıda tez kapsamında kullanılacak dinamik parametreler öz olarak açıklanmaktadır:

2.2. Periyot ve Frekans

Tez kapsamında kullanılacak en önemli dinamik parametrelerin başında periyot ve frekans gelmektedir. Periyot, salınım hareketi yapan bir sistemin, bir tam salınım için geçen zamana yada bir titreşim için geçen süreye denilmektedir. Birimi saniyedir. Frekans veya titreşim sayısı bir olayın birim zaman (1 saniye) içinde kaç defa tekrarlandığının ölçümüdür. Periyodun çarpmaya göre tersidir. Birimi Hertz (Hz) ile gösterilir. Bir hertz saniyede bir tekrar demektir.

2.3. Sönüm

Tez kapsamında kullanılacak bir diğer parametre sönümdür. Bir salınım hareketinin genliğindeki azalma sönüm olarak ifade edilmektedir. Sönüm yeterince küçükse sistem titreşecek, fakat zaman ilerledikçe titreşim de sona erecektir. Bu durumdaki sistem az sönümlü (kritik altı sönüm) olarak ifade edilir. Sistem tek harekette sonlanıyorsa, bu durumda kritik sönüm durumu oluşur. Sönümü kritik sönümün üzerine çıkarırsak, sistem aşırı sönümlü (kritik üstü) olarak tanımlanmaktadır.

2.4. Rezonans

Nadiren de olsa yapıların ya da yapı elemanlarının yıkılmasına neden olan dinamik parametrelerden biri rezonans olayıdır. Yapının doğal frekansının yapıya uygulanan yükün frekansına eşit olduğu durumda rezonans oluşmakta ve sistemin titreşim genliği teorik olarak sonsuza gitmektedir. Bu durum fiziksel olarak sistemde çok büyük hasarlara neden olabilmektedir.

2.5. Titreşim Ölçüm Yöntemleri

Bu yöntemlerde yapılar ya bilinen bir kuvvetle titreştirilmekte ya da çevresel titreşimler dikkate alınarak ölçümler yapılmaktadır. Deneysel ve operasyonel modal analiz olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Tez kapsamında bu iki yöntemden operasyonel modal analiz yöntemi kullanılmaktadır.

2.5.1. Deneysel Modal Analiz Yöntemi

Yapıya uygulanan kuvvet, çekicinin başlığına yerleştirilen kuvvet-ölçer yardımıyla; yapının titreşim tepkileri ise yapıya bağlanan ivme ölçerler yardımıyla ölçülerek kayıt edilmektedir. Bu yöntemde kuvvet çekiçleri kullanıldığından çekiç testi olarak da bilinmektedir. Makine parçalarının titreşim analizlerinde, inşaat mühendisliği ile ilgili yapıların laboratuvar modellerinin titreşimlerinin incelenmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

2.5.2. Operasyonel Modal Analiz Yöntemi

Gelişen bilgisayar teknolojisi ve elektronik imkanlar, titreşimlere maruz yapıların ölçümlerinde bir titreştirici kullanmak yerine, yapıdaki mevcut titreşimleri dikkate

olarak ölçüm yapılabilmektedir. Ölçümlerde çevresel titreşimler kullanıldığından dolayı çevresel titreşim testi olarak da adlandırılmaktadır.

2.6. İvmelenme Oranı

Titreşimlerin sınır değerleri ile ilgili yorum yaparken kullanılacak önemli bir parametre ivmelenme oranıdır. İvmelenme oranı sarsım olarak da tanımlanmakta, matematiksel olarak ivmenin zamana göre türevidir. Vektörel olan bu büyüklük metrik sistemde m/s^3 olarak tanımlanmaktadır. Sarsım için uluslararası kabul edilmiş bir sembol yoktur, ancak İngilizce “jerk” kelimesinin baş harfi “j” yaygın olarak kullanılmaktadır.

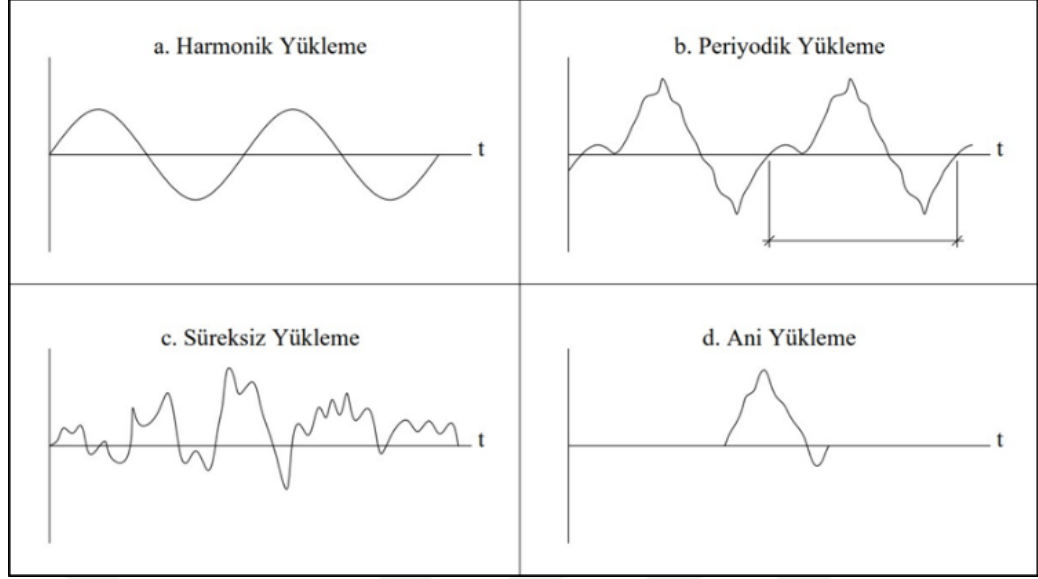
2.7. Döşeme Yükleri

2.7.1. Döşemelerin Maruz Kaldığı Statik Yükler

Döşeme hesaplarında dikkate alınacak düşey yükler, kalıcı (g) ve hareketli (q) yüklerdir. Bu yüklerin döşeme üzerinde eşit yayılı olarak etkidiği kabul edilmektedir. Ancak özellikle konut dışındaki yapılarda döşemelere ağır tekil yüklerin etkimesi de söz konusu olabilir. Bu durumda döşemenin projelendirilmesinde tekil yükün de dikkate alınması gerekmektedir. Döşeme üzerinde duvar bulunması durumunda döşeme, yayılı yüklere ilave olarak duvar ağırlığından kaynaklanan şerit yükün etkisinde de kalacaktır.

2.7.2. Döşemelerin Maruz Kaldığı Dinamik Yükler

Genliği, doğrultusu ve etkime noktası zamana bağlı olarak değişen yükler, dinamik yükler olarak tanımlanır. Dinamik yükler harmonik, periyodik, süreksiz ve anlık yüklemeler olarak da sınıflandırılmaktadır. Harmonik ve sinüzoidal yüklemeler genellikle dönme hareketi yapan makina etkileri ile oluşmaktadır. Periyodik yükler ritmik insan aktiviteleri ve vurma etkisi yaratan makinaların etkileri ile oluşmaktadır. Süreksiz yükler yürüme ve koşma gibi insan hareketleri etkileri ile oluşur. Zıplama topuk etkileri ve patlamalar ani yüklerin oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 2.5. Dinamik yüklemeler (Allen ve Murray 1993)

2.8. Kaynak Araştırması

Tarihi yapılar genel itibariyle oldukça rijit olarak inşa edildiğinden, titreşim problemleri de nispeten daha az ortaya çıkmıştır. Açıklıkların geçilmesinde çoğu zaman basınca çalışan kemerler kullanıldığından, sehim ve titreşim sorunları da bu tür yapılarda rahatsız edici boyutlara genel olarak ulaşmamaktadır. Dolayısıyla döşemelerdeki titreşim sorununa ilişkin çalışmalar, ancak 1800 lerin başlarına kadar uzanabilmektedir. İlk çalışmalarda köprüler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar başı çekmektedir. Çünkü köprüden gerek askerlerin gerekse sivillerin geçişi sırasında meydana gelen titreşimler, bunların bir kısmının yıkılmasına neden olmuştur.

Stevenson 1821'de, yaya köprülerinde yürüyen kalabalıklarla birlikte dikkat çekici bir şekilde ortaya çıkan köprü titreşimlerinden söz etmiştir. Stevenson'un çalışmasından 10 yıl sonra Broughton'da askerlerin geçtiği bir köprü çökmüştür (Prakash Kumar ve Anil Kumar, 2014)

Titreşim konusu ile ilgili ilk çalışmalardan biri Tredgold tarafından 1828 yılında yapılmıştır. Tredgold geniş açıklık geçen kirişlerin yüksek kesitli olmaları gerektiğini, aksi taktirde döşeme üzerinde bulunan cisimleri sallamadan yürümenin mümkün olmayacağından bahsederek bu konuya ilk defa değinmiştir.

Doğru hesap yöntemine veya dijital aletlere sahip olmasa da, Tilden (1913) bir kişinin farklı aktivitelerinden kaynaklanan dinamik etkileri çalışmış ve kalabalık insan yüklerinin yapıların titreşimi üzerindeki etkilerini irdelenmiştir.

1957'de in'deki Wuhan Yangtze köprüsünde kalabalıklardan kaynaklanan aşırı yanal titreşimlere ilişkin bilinen ilk gözlemler yapılmış ve kayıtlara girmiştir (Sun and Yuan, 2008).

1958'de Kiev yaya asma köprüsünde, köprü titreşimleriyle ilgili olarak, bir başka istenmeyen olay meydana gelmiştir (Blekherman, 2005).

Lanzen tarafından 1966 yılında yapılan çalışmada dinamik yükler altında döşeme sistemlerinde oluşan titreşimin, sistemin sönümlenmesine ve kütlesine bağlı olduğu ortaya atılmıştır. Lanzen çalışmasında sehim kontrolüne ek olarak, titreşim hareketinin ivmesine dayalı yeni bir hesap yönteminin oluşmasına öncülük etmiştir (Lanzen 1966).

Murray 1975 yılında döşeme titreşimlerini önlemeyecek şekilde tasarım yapmaya yönelik çalışmalarını yayınlamıştır (Murray 1975).

1976 yılında Allen ve Rainer, döşeme sistemlerinde darbeye dayalı etki tepki deneylerini yayınlamışlardır. Allen ve Rainer'in yaptıkları deneylerin sonucunda döşeme sistemlerinde kütleinin ve sönümlenmenin, titreşim üzerinde oluşturduğu etkiler basit bir ampirik formül ile açıklanabilmiştir (Allen ve Rainer, 1976).

Allen ve Rainer tarafından yapılan deneylerden sonra, Murray çok sayıda farklı tiplerde döşeme sistemlerinde çalışmalar yaparak konuyu daha da genişletmiştir (Murray, 1981 ve 1991).

1991 de Amerika Yapısal elik Eğitim Konseyi, mühendislere döşeme titreşimini önlemeye yönelik tasarım uygulamalarına ilişkin bir kılavuz yayınlanmıştır. Çalışmada insan kaynaklı titreşimler tanımlanmış, insan aktivitesinin türü sınıflandırılmış, kat döşemelerinin titreşim tepkilerini etkileyen faktörler belirlenmiş, standart hükümleri gözden geçirilmiş ve kat yapısal sistem parametreleri hesaplanmıştır (Naeim, 1991).

1993 yılında Allen ve Murray çalışmalarını birleştirip ortak çalışmalar gerçekleştirmiş, yürüme etkileri altında döşeme sistemlerinin tasarlanabilmesi için bir yöntem önermişlerdir (Allen ve Murray.1993) Önerilen bu yöntem günümüzde kullanılan tasarım yöntemlerine öncülük etmektedir. AISC ve EN yönetmeliklerine ek olarak hazırlanan iki tasarım kılavuzu döşeme sistemlerinde titreşim sorununun önüne geçebilmek için hesap yapılmasını sağlayan yöntemler tavsiye etmektedir.

B.R. Ellis ve T. Ji 1994 yılında, döşeme titreşiminin hesabında kullanılacak bir analitik yöntemi doğrulamak amacıyla, dans tipi dinamik yükün neden olduğu döşeme titreşimlerini deneysel testler ve sayısal hesaplamalarla araştırmıştır. Çalışmada insanların döşeme üzerinde bir yük olarak zıplama hareketi yaptıklarında, sadece ilave bir kütle olmadığı, bunun yanında kullanılabilirlik sınır durumunda sorunla sonuçlanacak önemli ivmelenmelerin de oluşabildiğini belirlemiştir (Ellis and Ji, 1994, Ji and Ellis, 1994).

Thomas M. Murray 2001 yılında ofis binalarındaki döşeme titreşimlerinden kaçınmak için ipuçlarını içeren bir yayın yapmıştır (Murray 2001).

Sachse ve Reynolds 2003 de yayınlamış oldukları yayında, araştırmacıların, modern yapıların kalabalık sakinleri ile genellikle uyumlu olan harmonik aktivitelerin oluşturduğu titreşimlerle ilgili konularda çalışmaya başladığını ve bu çalışmaların temel olarak iki gruba ayrıldığını belirttiler. Birinci grup çalışma; titreşimin dinamik yüklerini araştırmak, ikinci grup çalışma ise kalabalıkların oluşturduğu yapının dinamik modal parametrelerini değiştirilmesi üzerineydi (Sachse et al., 2003).

2000 lerin başlarından itibaren, döşeme titreşimlerini azaltmaya yönelik olarak, sönüm parametresi üzerinde ve pasif ayarlı sönümleyicilerin yerleştirilmesi konusunda çalışmalar yapılmıştır (Ibrahim Saidi et al., 2006).

2009 da Racic ve Pavic, titreşim sorununa ilişkin olarak en kritik etkinin, atlama olduğu sıralamasını yaptılar (Racic and Pavic, 2009).

Son yıllarda yüksek dayanımlı ve hafif malzemeden inşa edilmiş yapılar üzerinde gelişmeler olmaktadır. Bu gelişmelere paralel olarak bu tür yapılarda ritmik aktivitelerden kaynaklanan insan kaynaklı titreşimlerin etkileri üzerinde çalışmalar

yapılmakta, yönetmelik ve standartlarda önerilen analitik ve teorik metodların karşılaştırılmasına yönelik irdellemeler gerçekleştirilmektedir. Bunlara örnek olarak Tin Shui Wai Halk Kütüphanesi döşemelerinde oluşan titreşimlerin incelenmesi (W.W.Li et al, 2011), İrlanda dansının neden olduğu zorlanmış geçici titreşime maruz kalmış bir döşemenin tepkisinin incelenmesi verilebilir (Valerie K. Smith and Murray S. Korman, 2012). Benzer şekilde Grha Sabha Pramana oditoryumunun titreşim davranışı 2016 yılında, sönümleyiciler kullanılarak incelendi ve sönümleyicilerin titreşimi azaltmaya yönelik etkinlikleri ve kişi sayısı hakkında önerilerde bulundu (Erlina et al,2016).

Günümüzde daha yaygın bir şekilde uygulanmaya başlanan kompozit döşemeler üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır. Ghafar ve Sahban kompozit döşelerde üst katman betonunun (topping) kalınlığının döşeme titreşimleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır (NH Abd Ghafar ve N M Sahban, 2017).

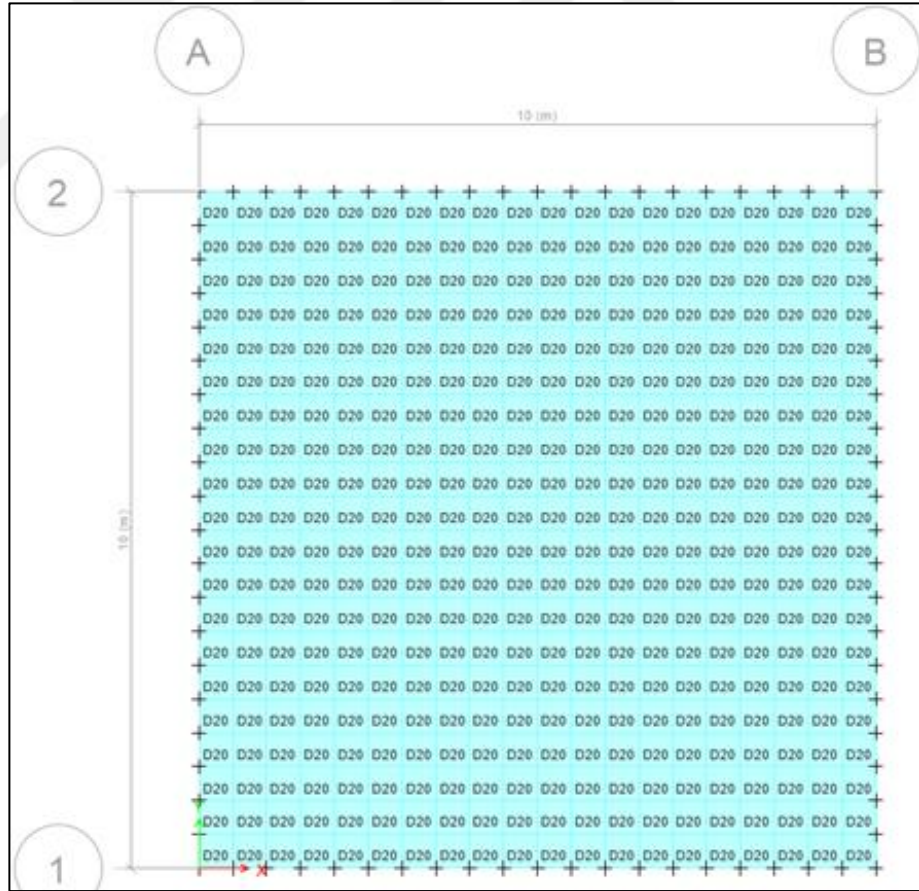
Yukarıda sunulan literatür taraması incelendiğinde, titreşim konusunun, daha çok çelik döşemeler için incelendiği görülecektir. Betonarme yapıların harmonik ve ritmik yükler etkisinde döşeme titreşim sorunlarını incelemeye yönelik çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır. Bu tez çalışmasında, amaca uygun olarak belirlenen üç betonarme döşeme sisteminin titreşim hesapları ve davranışı incelenecektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Örnek Olarak Seçilen 1.Döşeme Sisteminin Tanıtılması

Örnek olarak seçilen 1.döşeme sistemi, kullanım durumu karşılaştırması için sayısal ortamda yapılmıştır. Birinci kullanım durumunda döşeme ofis ara kat yapısal elemanı olarak dikkate alınmakta, ikinci kullanım durumunda ise spor salonu olarak dikkate alınmaktadır. Betonarme plak döşeme olarak tasarlanan bu yapısal elemanın, titreşim hesapları yapılmaktadır. Döşeme sisteminde, insan hareketlerinin etkisi altında ortaya çıkabilecek titreşim sorunları, *Design Guide for Vibrations of Reinforced Concrete Floor Systems (2014)* ve *AISC Steel Desing Guide 11 (2010)* tasarım kılavuzlarına göre değerlendirilmektedir. Örnek olarak seçilen betonarme döşeme sisteminin yapısal modellenmesi ETABS (2016) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Seçilen döşemenin geometrisi ve mesnetlenme durumu Şekil 3.1. de sunulmaktadır.



Şekil 3.1. Örnek Model 1 Betonarme Döşeme

Döşeme Malzeme Özellikleri:

Seçilen döşemede kullanılan betonun sınıfı C30 olarak belirlenmiştir. Elastisite modülünün değeri $E_c = 3180000 \text{ t/m}^2$ olarak kullanılmıştır. “Design Guide for Vibrations of Reinforced Concrete Floor Systems” kılavuzu doğrultusunda dinamik hesap yapılırken, beton malzemenin elastisite modülü 1,2 sabit katsayısı ile çarpılarak arttırılmaktadır. $E_{c,d} = 1,2 \times E_c = 3816000 \text{ t/m}^2$

Döşeme Kesit Özellikleri:

Döşeme Boyutları : 10 m x 10 m

Döşeme Kalınlığı : 0.20 m

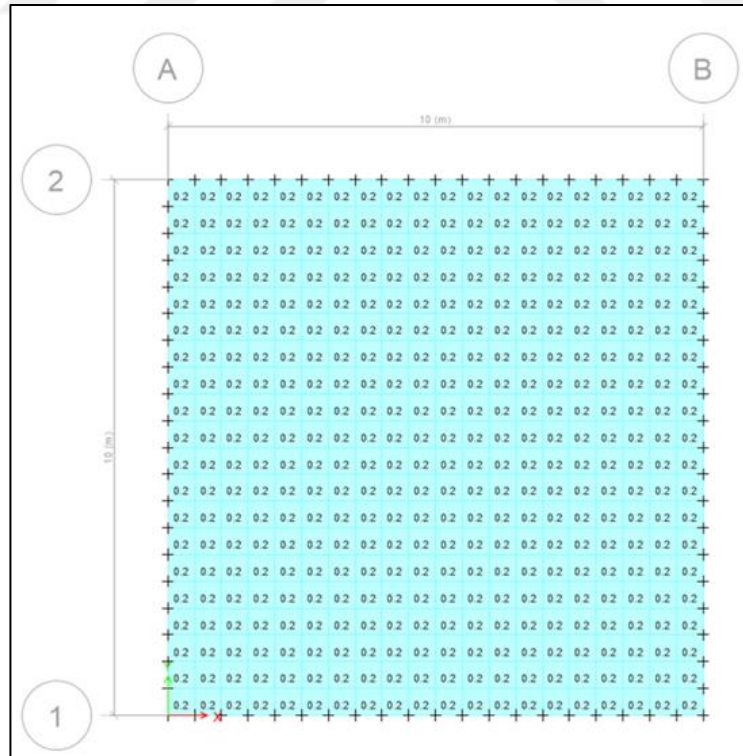
Döşeme Yükleri:

Döşeme Yüğü : $0,20 \text{ m} \times 2,5 \text{ t/m}^3 = 0,5 \text{ t/m}^2$

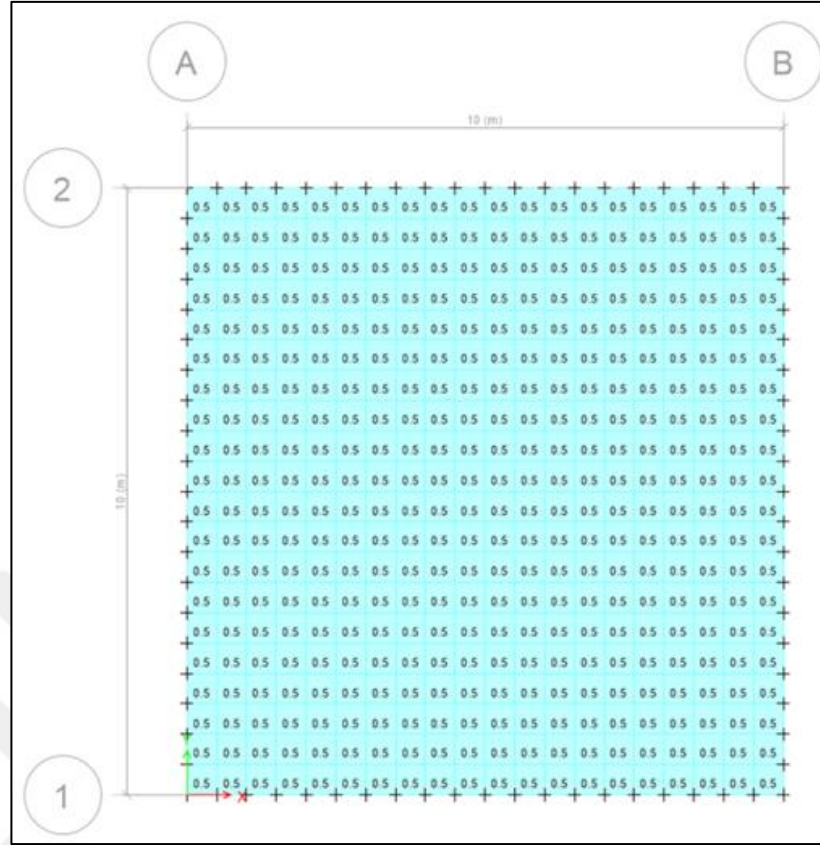
Kaplama Yüğü: $0,2 \text{ t/m}^2$

Toplam Ağırlık : $0,7 \text{ t/m}^2 \times 10 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 70 \text{ t}$

Döşeme kalıcı (zati) ve hareketli yüklerin dikkate alınması ve model üzerindeki görünümü Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 te gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Döşeme yükleri görünümü (Kaplama, Zati Yüğü)



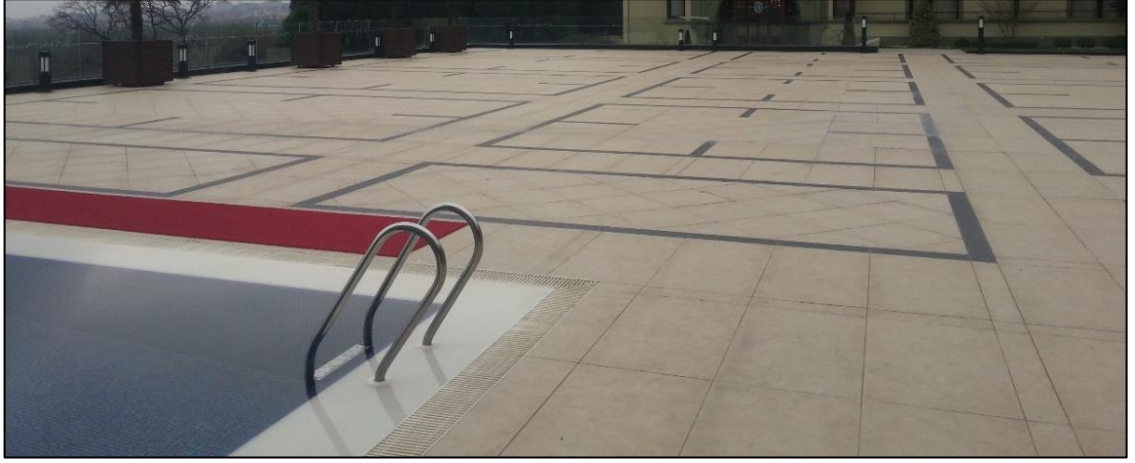
Şekil 3.3.Döşeme yükleri görünümü (Hareketli Yük)

3.1.2. Örnek Olarak Seçilen 2.Döşeme Sisteminin Tanıtılması

İkinci örnek döşeme sisteminde altı salon üstü kokteyl, düğün ve kutlama gibi etkinlikler için kullanılan betonarme bir döşeme sistemi seçilmiştir. Döşemenin altında bulunan davet salonu Şekil 3.4 de, düğün & kokteyl gibi etkinlik alanı olarak kullanılan üst kısmı ise Şekil 3.5 de sunulmaktadır. Uygulamada betonarme ile geçilen nispeten büyük açıklıklara (26,45m x 30,7m) sahip olması ve yürüyüş ve dans gibi insan hareketlerinin etkisinde olması, döşemenin titreşim açısından irdelenmesini cazip kılmaktadır.

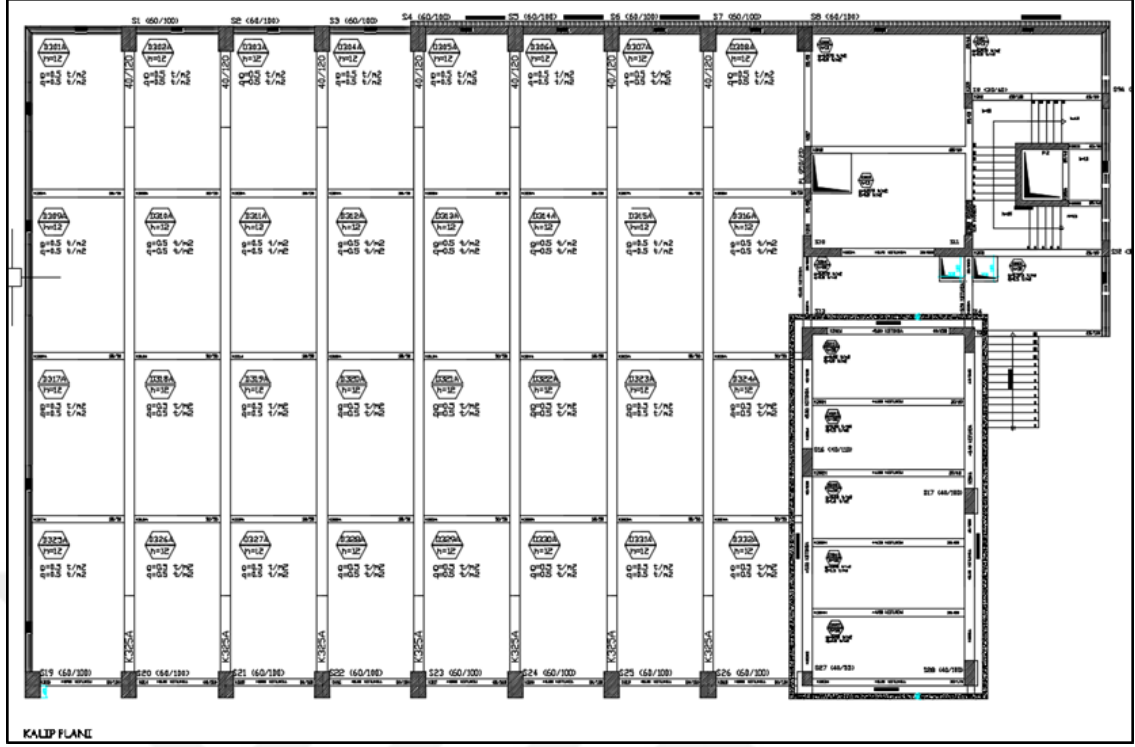


Şekil 3.4. İkinci örnek döşemenin altında bulunan davet salonu görünümü



Şekil 3.5. İkinci örnek döşemenin üstünde bulunan etkinlik alanının görünümü

İkinci örnek döşemenin kalıp planı Şekil 3.6 da gösterilmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi döşeme kirişli bir döşeme sistemidir.



Şekil 3.6. İkinci örnek döşemenin kalıp planı görünümü

Örnek döşemeye ilişkin kiriş ve döşeme boyutlarıyla, ilgili başlıca mesafeler aşağıda verilmektedir:

Döşeme ve kiriş boyutları:

Net kiriş açıklığı : 24,45 m

Ana kiriş boyutları : Kiriş genişliği 0,40 m , kiriş yüksekliği 1,20 m

Tali kiriş boyutları : Kiriş genişliği 0,30 m , kiriş yüksekliği 0,50 m

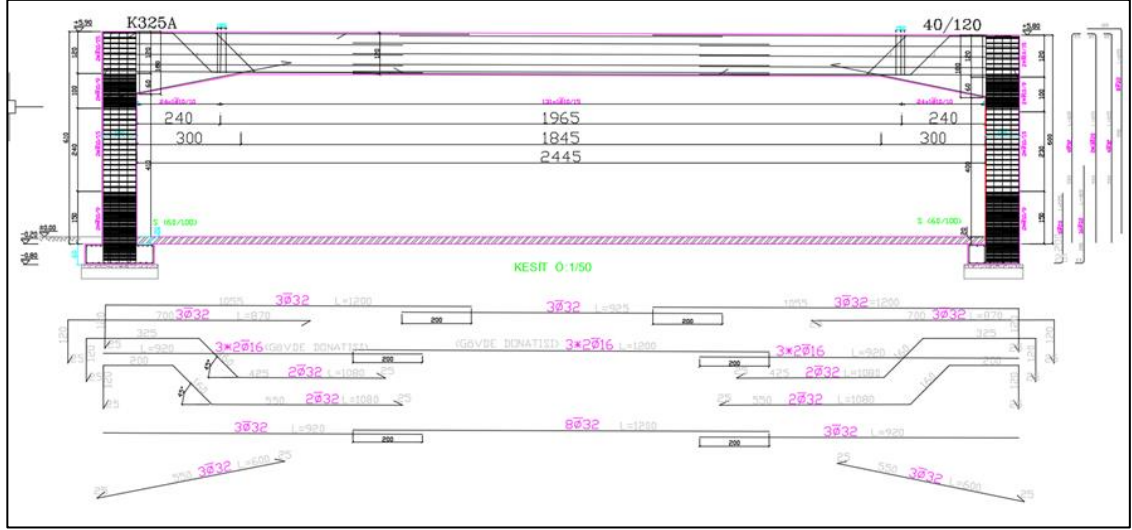
Kolon boyutları : 0,60 m x 1 m

Ana kiriş ara mesafeleri : 3. 80 m

Tali kiriş ara mesafeleri :6,125 m

Döşeme kalınlığı : 0,12 m

Statik projeden alınan ana kiriş kesit çizimi Şekil 3.7 de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. İkinci örnek döşeme sisteminin kirişlerinin kesit çizimi

Kiriş donatılarına ilişkin bilgiler aşağıda verilmektedir:

Kiriş donatı alanları:

Kiriş alt donatısı = $8 \phi 32$

Üst donatı = $3 \phi 32$

Üst mesnet donatısı = $3 \phi 32 + 3 \phi 32 + 2 \phi 32 + 2 \phi 32 = 10 \phi 32$

3.1.3. Örnek Olarak Seçilen 3.Döşeme Sisteminin Tanıtılması

Tez kapsamında 3. uygulama olarak incelenecek olan döşeme, Panorama 1326 Bursa Fetih Müzesinde kubbe formu çatının altında bulunan, 40 m çapındaki dairesel bir betonarme döşeme sistemidir.

“Panorama 1326 Bursa Fetih Müzesi” kubbe formu tam panoramik özelliği ile türünün dünyadaki ikinci örneğidir. Bursa'nın fethini anlatan panoramik müze, 40 metre çaplı küresel formda olup, tavanı elipsoit kubbe formundadır. Mimari projeleri Uludağ Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Özgür EDİZ önderliğinde gerçekleştirilmiştir.

Panorama 1326 Bursa Fetih Müzesinin Mimari projelerinden iki örnek görüntü Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 da sunulmaktadır.



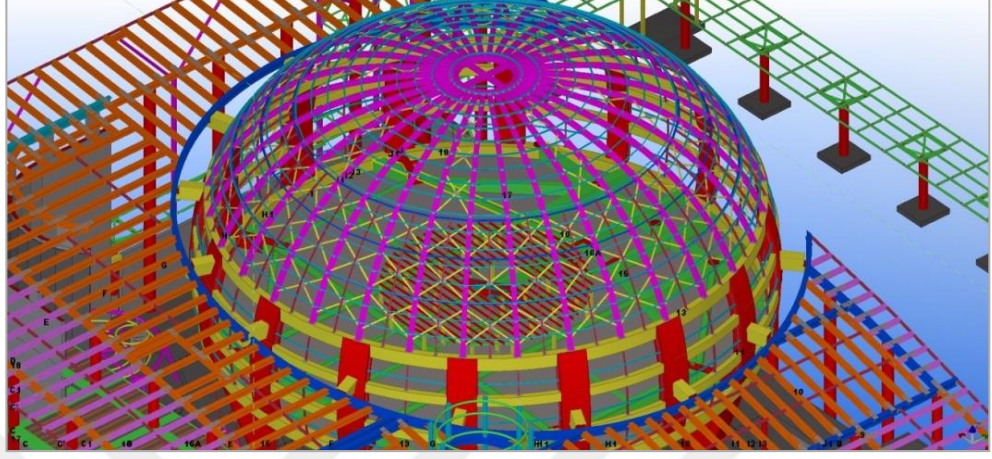
Şekil 3.8. Panorama 1326 nın mimari projesinden görünüm 1



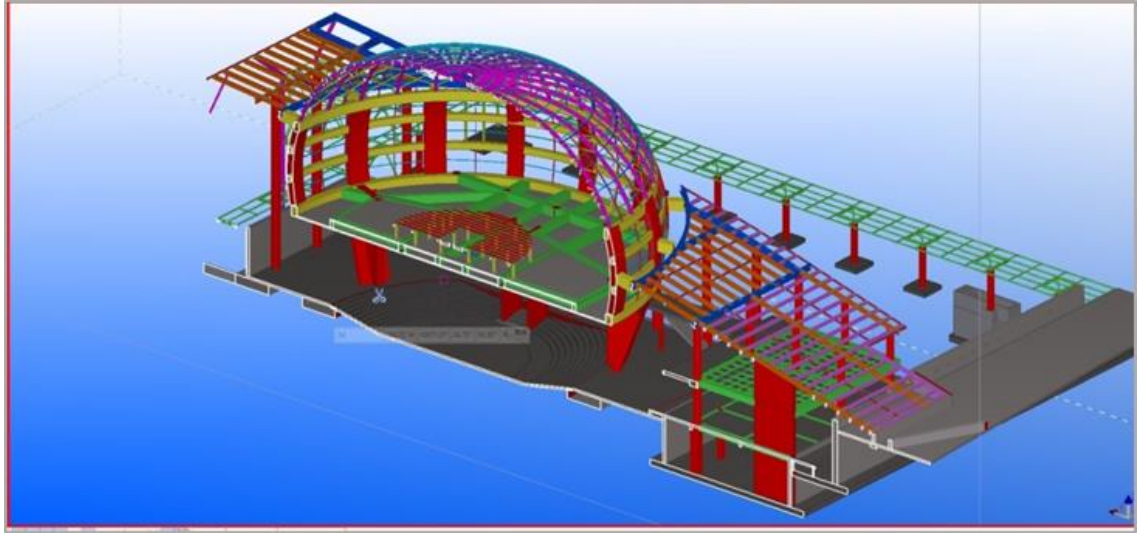
Şekil 3.9. Panorama 1326 nın mimari projesinden görünüm 2

Panorama 1326 Bursa Fetih Müzesinin statik projeleri Salih Zeki ÜN ve Deniz UYAN tarafından yapılmıştır. Yapının genel olarak tüm taşıyıcı sisteminin ve özellikle

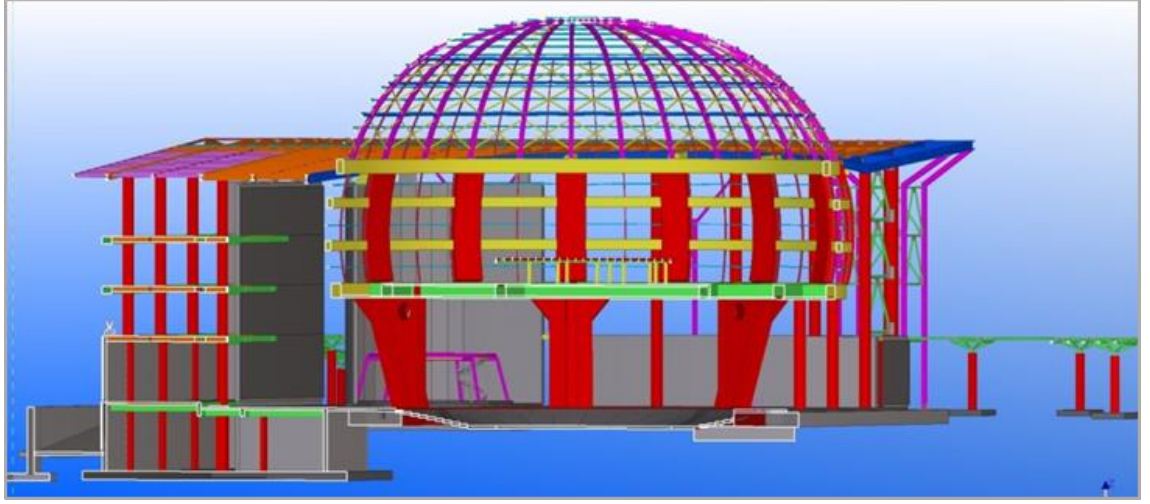
döşeme sistemi statik projelerinden görünümle Şekil 3.10- Şekil 3.14 de sunulmaktadır.



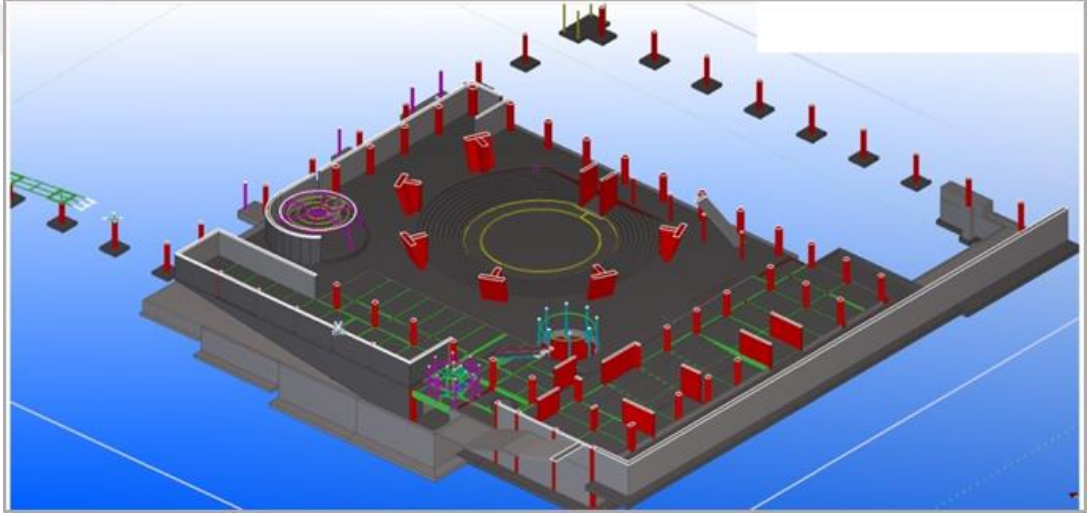
Şekil 3.10. Panorama 1326 statik proje görünüm 1



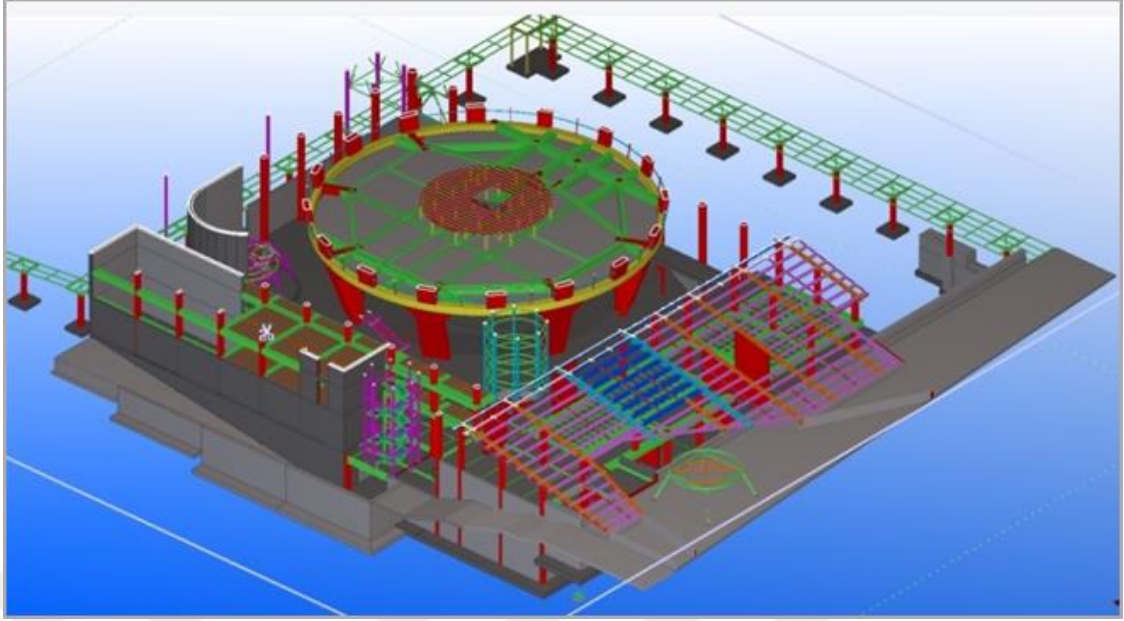
Şekil 3.11. Panorama 1326 statik proje görünüm 2



Şekil 3.12. Panorama 1326 statik proje görünüm 3

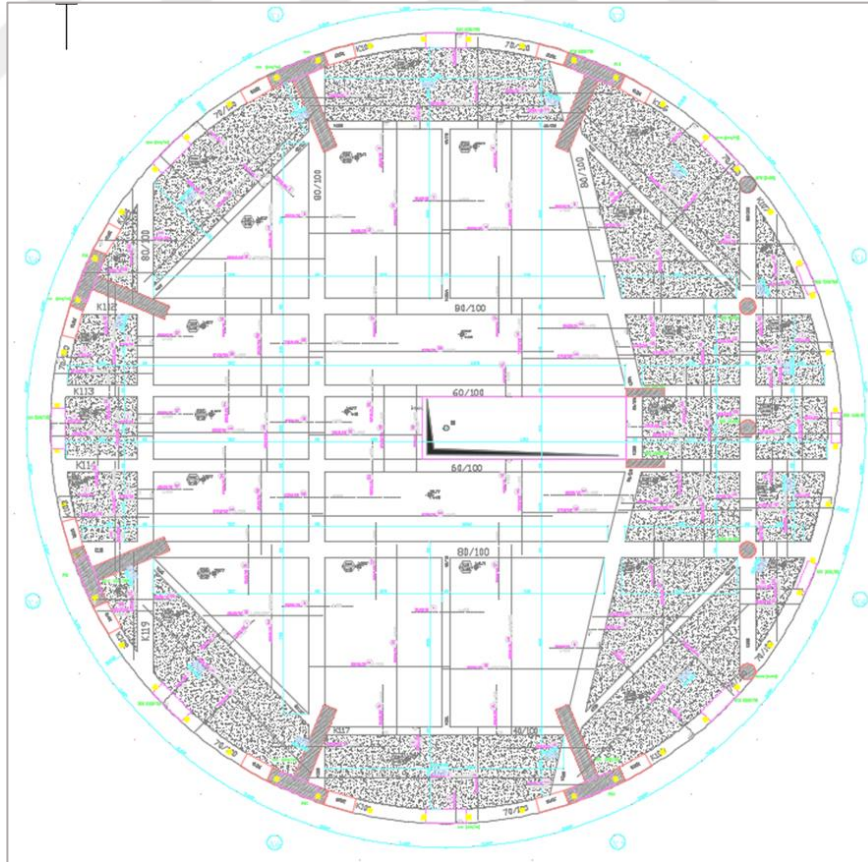


Şekil 3.13. Panorama 1326 statik proje görünüm 4

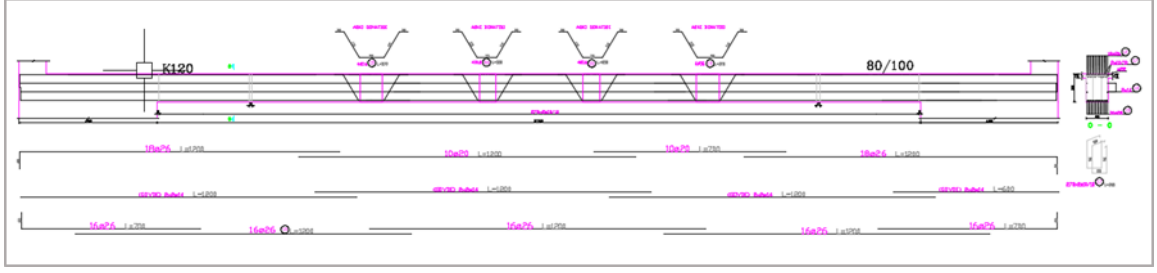


Şekil 3.14.Panorama 1326 statik proje görünüm 5

Döşemenin bulunduğu kısmın kalıp planı Şekil 3.15 de, kiriş donatı çizimi Şekil 3.16 da verilmektedir.



Şekil 3.15. Statik proje kalıp planı



Şekil 3.16. Statik proje kiriş kesit çizimi

Yukarıdaki taşıyıcı sistem şekillerinden de görüldüğü gibi, sahne platformuna çıkan yürüyen merdiven kenarlarına konulan perdeler ve altı adet T şeklindeki perde 39 m çapındaki betonarme platforma mesnet teşkil etmektedir. Taşıyıcı sistemin daha iyi algılanabilmesi için, kolon-kiriş ve döşemeye ilişkin bazı önemli bilgiler aşağıda verilmektedir:

Betonarme platform çapı : 39 m

Kiriş Boyutları : Kiriş genişliği 0,60-0,80 m , kiriş yüksekliği 1 m

Kolon Boyutları : 3,30 m x 4,55 m x 0,70 m

Döşeme Kalınlığı : 0,15 m

Kiriş Alt Donatısı = 16Ø26

Üst Donatı = 10Ø20

Üst Mesnet Donatısı = 18 Ø26

3.2. Yöntem

3.2.1. Döşeme Titreşimleri Hesap Yöntemleri ve Yönetmelik Hükümleri

3.2.1.1. Döşeme Titreşimleri ile ilgili Yönetmelik ve Standartlar

Daha önce de belirtildiği gibi ülkemizde maalesef döşeme titreşimleriyle ilgili hesap ve tasarımları içeren, bir tasarım kılavuzu ya da Türk standardı bulunmamaktadır.

Uluslararası alanda ise tez çalışmasında referans kabul edilen yönetmelikler Design Guide for Vibrations of Reinforced Concrete Floor Systems (CRSI 2014) ve AISC Design Guide 11 (Murray ve diğ. 2003) yaygın olarak kullanılan tasarım klavuzlarıdır.

Döşeme Titreşimlerinin “Design Guide for Vibrations of Reinforced Concrete Floor Systems” ve “AISC Steel Design Guide 11 rehberlerine göre değerlendirilmesi aşağıda sunulmaktadır:

Yukarıda belirtilen tasarım klavuzlarına göre, öncelikle sistemin tahmin edilen maksimum ivmesi bulunmakta ve yer çekimi ivmesine bölünerek, ivmelenme oranı belirlenmektedir. Belirlenen bu ivmelenme oranı; limit değerlerle (sınır değerlerle) karşılaştırılarak titreşim probleminin kullanılabilirlik açısından uygun olup olmadığının değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Bu klavuzlar yardımıyla titreşim hesabına ilişkin gerekli olan bağıntı ve semboller aşağıda sunulmaktadır: Bu bağıntılarda öngörülen frekanslar (f) ve dinamik katsayılar (α_i) Çizelge 3.1 de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Yaygın olarak kullanılan tahrik frekansları (f) ve dinamik katsayılar (α_i)

Zorlanmış Frekanslar (f) ve Dinamik Katsayılar* (α_i)						
Harmonik i	Yürüme Etkileri		Spor Salonları		Dans Salonları	
	f (Hz)	α_i	f (Hz)	α_i	f (Hz)	α_i
1	1,6 – 2,2	0,5	2 – 2,75	1,5	1,5 - 3	0,5
2	3,2 – 4,4	0,2	4 – 5,5	0,6	-	-
3	4,8 – 6,6	0,1	6 – 8,25	0,1	-	-
4	6,4 – 8,8	0,05	-	-	-	-

*Dinamik Katsayı = en büyük sinüzoidal kuvvet / yürüyen insan ağırlığı

Döşemelerde titreşim hesaplarıyla ilgil olarak kullanılacak olan bağıntılardaki sembollerin anlamları aşağıda sunulmaktadır:

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2 biriminde, $9,86 m/s^2$)

a_p/g : Yerçekimi ivmesinin bir kısmı olarak tahmini pik ivme, (g biriminde)

- f : Tahrik frekansı ($=i \cdot f_{step}$, f_{step} : adım frekansı)
- f_n : Döşeme sisteminin doğal frekansı, Hz
- $(f_n)_{req'd}$: Döşeme sisteminin minimum doğal frekansı, Hz
- a_o/g : Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen sınır değeri (Şekil 3.17)
- P_o : Sabit Kuvvet (*döşemede yürüyen 0,7 kN luk bir kişi için 0,29 kN öngörülmektedir*)
- W : Döşeme sisteminin ağırlığı, kN
- w_p : Döşeme üzerinde dağılmış katılımcıların birim alandaki etkili ağırlığı
- w_t : Döşeme birim alandaki etkili ağırlık (alanda bulunan kişiler dahil)
- β : Modal sönümlenme oranı.

Yürüyüş için ivmelenme oranı;

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_o \cdot \exp(-0,35 f_n)}{\beta \cdot W} \leq \frac{a_o}{g} \quad (3.1)$$

Harmonik ritmik etki için ivmelenme oranı;

$$\frac{a_p}{g} = \frac{1,3 \cdot \alpha_i \cdot w_p / w_t}{\sqrt{\left[\left(\frac{f_n}{f}\right)^2 - 1\right]^2 + \left[\frac{2\beta f_n}{f}\right]^2}} \quad (3.2)$$

$f_n = f$ rezonans durumunda ivmelenme oranı;

$$\frac{a_p}{g} = \frac{1,3}{2\beta} \cdot \frac{\alpha_i \cdot w_p}{w_t} \quad (3.3)$$

$f_n > 1,2f$ durumunda ivmelenme oranı;

$$\frac{a_p}{g} = \frac{1,3}{\left(\frac{f_n}{f}\right)^2 - 1} \cdot \frac{\alpha_i \cdot w_p}{w_t} \quad (3.4)$$

Titreşim sorunlarında en kritik olan rezonans durumunda en yüksek ivme (3.3) denklemi yardımıyla belirlenmektedir. Birinci , ikinci ve üçüncü harmoniklerden gelen titreşim de, titreşim problemine yol açabilir. Bu durumda en yüksek ivme (3.4) denklemiyle belirlenmektedir. Çünkü dinamik yüklemeye ve ritmik aktivitelere eşlik eden, döşeme titreşimleri genellikle büyüktür. Döşeme sisteminin kütlelerini veya sönümlenmesini artırarak titreşimi azaltmak sorunun çözümünde genellikle etkili değildir. Sonuç olarak

f_n , rezonans titreşime neden olabilen en yüksek harmoniğin frekansından (f 'inden) daha yüksek olmalıdır. Denklem (3.4) kullanarak, döşeme sistemlerinin ritmik uyarımı için kabul kriteri:

$$f_n \geq f \sqrt{1 + \frac{k}{a_0/g} \cdot \frac{\alpha_i \cdot w_p}{w_i}} \quad (3.5)$$

şeklinde önerilmektedir. Bu denkelemde k , değerleri aşağıda verilen aktiviteye bağlı olan bir sabittir.

- Dans için $k= 1,3$
- Konser veya spor etkinliği için $k= 1,7$
- Aerobik veya zıplama için $k= 2,0$

Birinci, ikinci ve üçüncü harmonikler için minimum doğal frekans değerleri denklem (3.6) ile belirlenmektedir.

$$f_n \geq (f_n)_{req'd} \geq f \sqrt{1 + \frac{k}{a_0/g} \cdot \frac{\alpha_i \cdot w_p}{w_i}} \quad (3.6)$$

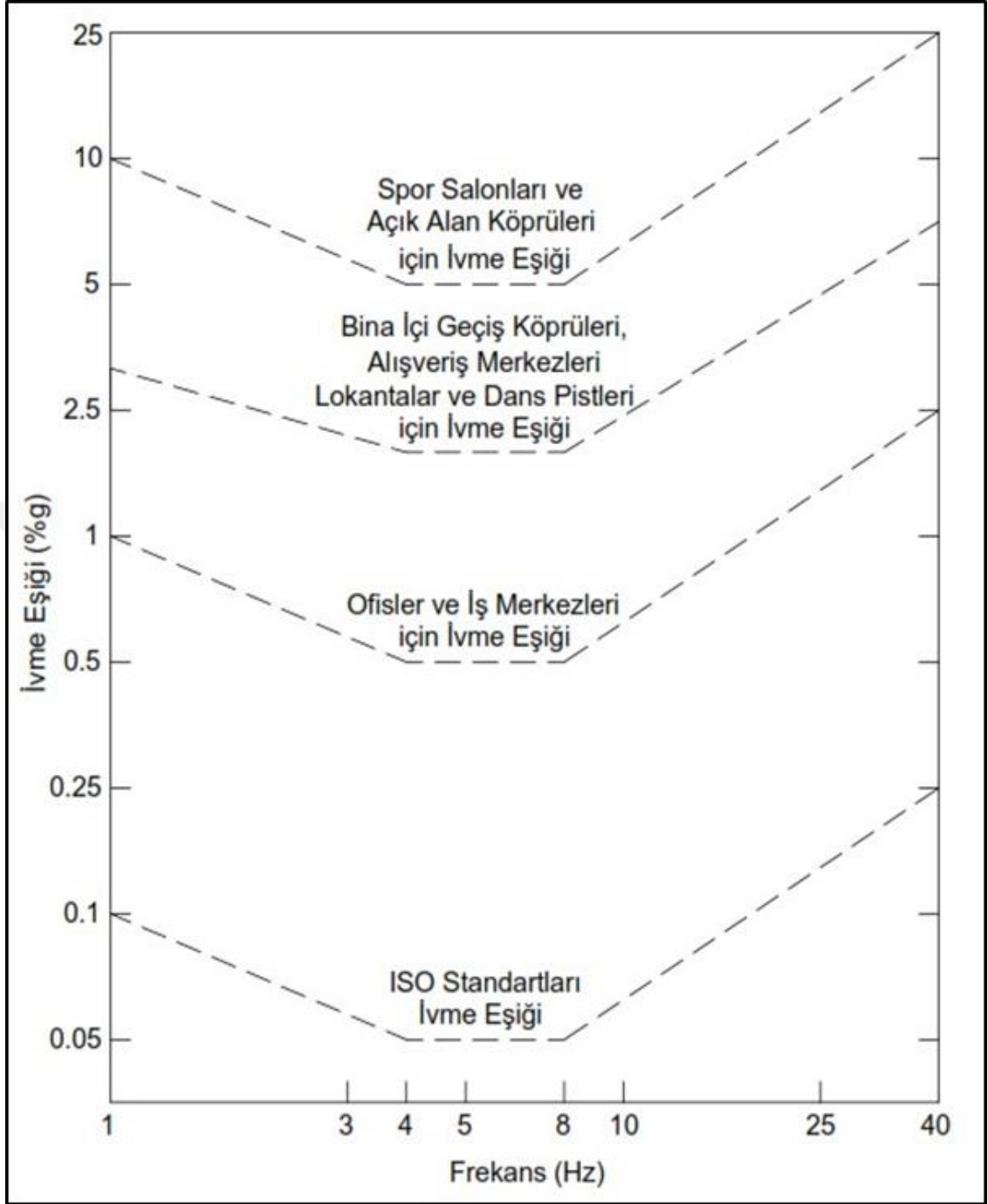
AISC Desing Guide 11 de ritmik hareketler için tavsiye edilen yük ve frekans değerleri Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 de, ivme eşikleri ise Şekil 3.17 de sunulmaktadır.

Çizelge 3.2. AISC Desing Guide 11'e göre ritmik hareketler için tahmini yük değerleri (Murray ve diğ. 2003).

Ritmik Etkiler İçin Tahmini Yüklemeler						
Aktivite	Tahrik frekansı f_n , Hz	Katılımcı Etkili Ağırlığı w_p		Dinamik Katsayı α_i	Dinamik Yük $\alpha_i \cdot w_p$	
		kPa	psf			
Dans ve Yemek Birinci Harmonik	1,5-3	0,6	12,5	0,5	6,2	
Canlı Konser veya Spor Etkinliği	Birinci Harmonik	1,5	31,0	0,25	7,8	
	İkinci Harmonik	3-5	1,5	31,0	0,05	1,6
Atlama ve ağırlık kaldırma egzersizleri	Birinci Harmonik	2-2,75	0,2	4,2	1,5	6,3
	İkinci Harmonik	4-5,5	0,2	4,2	0,6	2,5
	Üçüncü Harmonik	6-8,25	0,2	4,2	0,1	0,42
Notlar: Yaygın olarak karşılaşılan katılımcıların maksimum yoğunluğu verilmiştir. Özel etkinlikler için katılımcıların yoğunluğu daha büyük olabilir.						

Çizelge 3.3. AISC Desing Guide 11'e göre ritmik hareketler için tavsiye edilen yük ve frekans değerleri (Murray ve diğ. 2003).

Ritmik Etkiler İçin Tasarım Kriterleri						
Aktivite İvmelenme Oranı Döşeme Sistemi	Tahrik frekansı ⁽¹⁾ f_n , Hz	Katılımcı Etkili Ağırlığı, w_p		Toplam Ağırlık, w_t		Minimum doğal frekans, f_n ⁽³⁾ Hz
		kPa	psf	kPa	psf	
Dans ve Yemek, $a_o/g = 0.02$	3	0,6	12,5	5,6	112,5	6,4
Ağır Döşeme 5 kPa(100psf)	3	0,6	12,5	3,1	62,5	8,1
Hafif Döşeme 2.5 kPa (50 psf)						
Canlı Konser veya Spor Etkinliği, $a_o/g = 0.05$						
Ağır Döşeme 5 kPa (100 psf)	5	1,5	31,0	6,5	131,0	5,9
Hafif Döşeme 2.5 kPa (50 psf)	5	1,5	31,0	4,0	81,0	6,4
Sadece Aerobik, $a_o/g = 0.06$						
Ağır Döşeme 5 kPa (100 psf)	8,25	0,2	4,2	5,2	104,2	8,8 ⁽²⁾
Hafif Döşeme 2.5 kPa (50 psf)	8,25	0,2	4,2	2,7	54,2	9,2 ⁽²⁾
Atlama ve ağırlık kaldırma egzersizleri, $a_o/g = 0.02$						
Ağır Döşeme 5 kPa (100 psf)	8,25	0,12	2,5	5,12	102,5	9,2 ⁽²⁾
Hafif Döşeme 2.5 kPa (50psf)	5,5	0,12	2,5	2,62	52,5	10,6 ⁽²⁾
Notlar: (1) Çizelge 3.2'de listelenen tüm harmoniklere Denklem (3.5) verilir ve titreşim frekansı gösterilir. (2) Denklem (3.3) 'e göre, sönümlenme zaman kütlelerinin 2. ve 3. harmonik rezonansı kabul edilebilir bir düzeye indirmek için yeterli olması durumunda azaltılabilir. (3) Denklem (3.6)						



Şekil 3.17. İvme eşikleri (Allen ve Murray, 1993)

Daha önce Denklem 3.1 ve 3.2 de belirtilen ivmelenme oranlarını hesaplayabilmek için döşeme sisteminin doğal frekansının (f_n) belirlenmesi gerekmektedir. Döşemeler genelde iki doğrultuda çalışan plak elemanlar olmakta ve mesnetlenme koşullarına, kalınlıklarına ve malzeme özelliklerine göre de rijitlikleri değişmektedir. Dolayısıyla doğal titreşim frekansı da değişik döşeme sistemleri için farklı olacaktır. Bu şekilde

frekans değerini elde edebilmek için döşeme sistemi sayısal yöntemlerle uygun mesnet şartlarıyla birlikte modellenerek titreşim frekansları belirlenebilir. Ancak titreşimle ilgili kılavuzlarda bir yaklaşım olarak üniform yüke maruz basit bir kirişin doğal titreşim frekansı (f_n) için aşağıdaki bağıntı önerilmektedir:

$$f_n = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{g \cdot E_s \cdot I_t}{w \cdot L^4}} \quad (3.7)$$

Ağırlık altında açıklık ortasında meydana gelen sehim değeri

$$\Delta = \frac{5}{384} \frac{w \cdot L^4}{E_s I_t} \quad (3.8)$$

Bu bağıntı aşağıdaki şekilde de yazılabilir:

$$f_n = 0,18 \sqrt{\frac{g}{\Delta}} \quad (3.9)$$

Bağıntı 3.8; yerçekimi ivmesinin değeri 10 m/s^2 alınırse doğal titreşim frekansı aşağıdaki bağıntı ile daha da basit bir halde belirlenebilmektedir.

$$f_n = \frac{18}{\sqrt{\Delta_{(mm)}}} \quad (3.10)$$

Bu bağıntılarda:

E_s : Sistem malzemesinin elastisite modülünü

I_t :Dönüştürülmüş atalet momenti, eğer kayma deformasyonları dikkate alınıyorsa etkili dönüştürülmüş (transformed) atalet momenti

w : Birim uzunluk için üniform yük

Δ : Kiriş açıklığının orta noktasında meydana gelen sehim

AISC (2010) kılavuzunda tavsiye edilen yük, sönüm oranı ve ivmelenme oranı limit değerleri Çizelge 3.4 den alınmaktadır.

Çizelge 3.4. AISC Desing Guide 11'e göre tavsiye edilen yük, sönümlenme oranı ve ivmelenme limiti değerleri (Murray ve diğ. 2003)

Titreşim Hareketi Hesabı Yapılırken Kullanılması Tavsiye Edilen Değerler			
	Kuvvet (P_o)	Sönümlenme Oranı (β)	İvmelenme Limiti (a_o/g x100)
Ofis, Rezidans, İbadethane	0,29 kN	0,02 – 0,05*	% 0,5
Alışveriş Merkezleri	0,29 kN	0,02	% 1,5
İç Mekan Yürüme Yolları	0,41 kN	0,01	% 1,5
Dış Mekan Yürüme Yolları	0,41 kN	0,01	% 5,0

* 0,02 bölme duvarı olmayan, açık ofis türü yapılar,
* 0,03 bölme duvarı olmayan ama modüler ofisler gibi kısmi duvarlara sahip yapılar,
* 0,05 bölme duvarı olan yapılar

Bu çalışmada farklı açıklıklarda döşeme sistemlerinin değişen sönüm oranlarına göre deplasman, frekans, dinamik harekete katılan kütle oranı ve ivmelenme oranlarını parametrelerinin değişimini görmek amacıyla parametrik olarak farklı boyutlardaki döşemeler incelenmiştir. Çizelge 3.5 den görüldüğü gibi sönüm oranı arttıkça ivmelenme oranının azaldığı yapılan çalışmada görülmüştür.

Çizelge 3.5. Döşeme açıklıklarına ve sönüm oranlarına göre frekans ve ivmelenme oranları değişimi gösterilmiştir.

Döşeme	Sönüm Oranları %	Deplasman (mm)	Frekans(Hz) $f_n = \frac{18}{\sqrt{\Delta}}$	Frekans Sap2000 (Hz)	W (kg)	$\frac{a_p}{g} = \frac{p_0 \exp(-0.35f_n)}{\beta W}$
5m*5m	$\beta=0.02$	0.6mm	23.23 HZ	25.3 HZ	17500 kg	0.001 %
	$\beta=0.03$					0.0008 %
	$\beta=0.04$					0.0006 %
	$\beta=0.05$					0.0004 %
10m*10m	$\beta=0.02$	9.67mm	5.78 HZ	5.78	70000 kg	0.27 %
	$\beta=0.03$					0.18 %
	$\beta=0.04$					0.14 %
	$\beta=0.05$					0.11 %
15m*15m	$\beta=0.02$	49 mm	2.57 HZ	2.83	157500 kg	0.3 %
	$\beta=0.03$					0.22 %
	$\beta=0.04$					0.17 %
	$\beta=0.05$					0.13 %
20m*20m	$\beta=0.02$	154 mm	1.45 HZ	1.59 HZ	280000 kg	0.29 %
	$\beta=0.03$					0.19 %
	$\beta=0.04$					0.15 %
	$\beta=0.05$					0.11 %
25m*25m	$\beta=0.02$	271 mm	1.09 HZ	1.2 HZ	437500 kg	0.22 %
	$\beta=0.03$					0.15 %
	$\beta=0.04$					0.10 %
	$\beta=0.05$					0.08 %

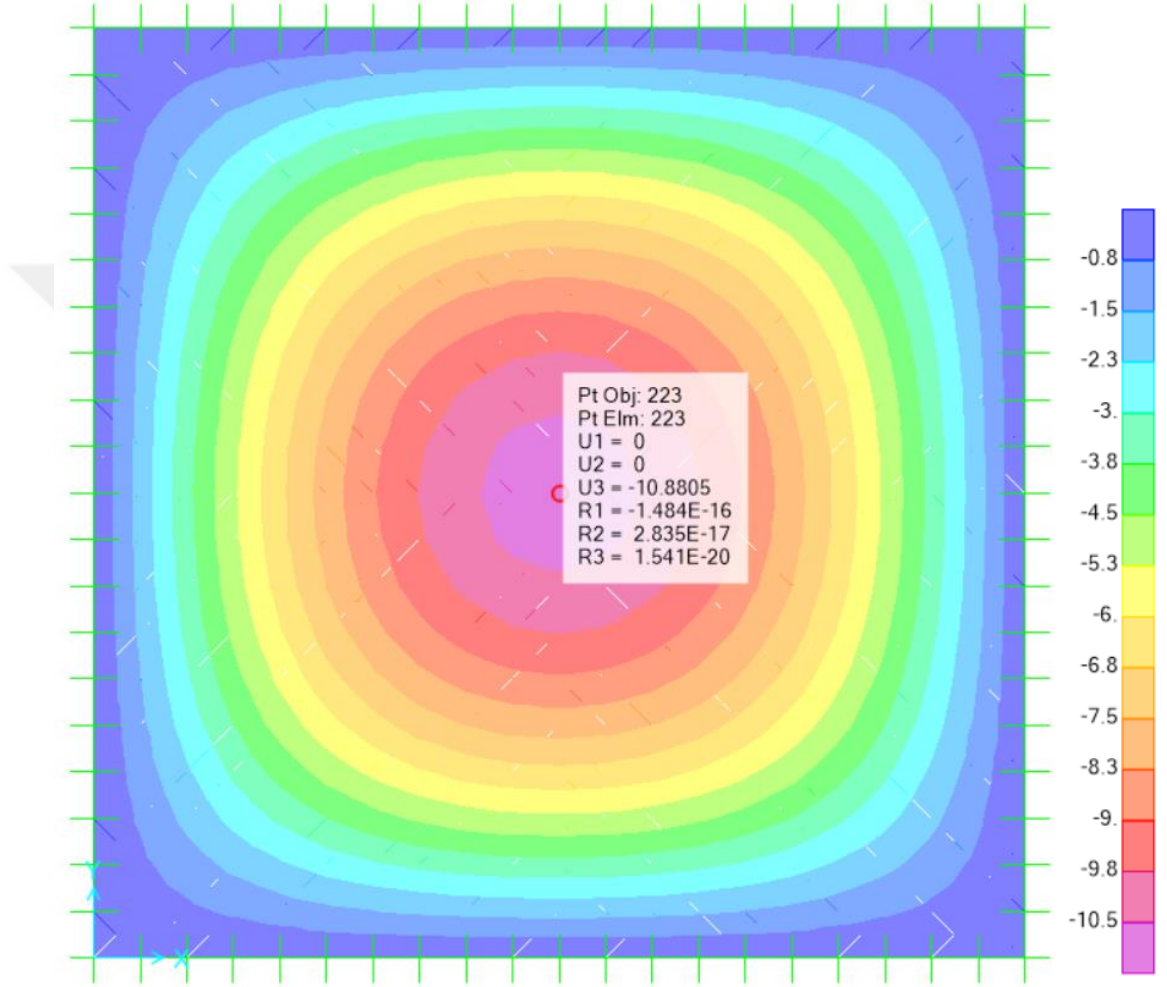
3.2.1.2.Yapısal Tasarım İçin Kriterler

Döşeme sistemlerinde titreşim için hesap yapmayı gerektiren ve içerisinde tasarım şartları bulunduran ve genel kabul gören Allen ve Murray ikilisi tarafından ortaya konan yaklaşımlardır (Allen ve Murray, 1993). İnsanların titreşimi algılama eşikleri yaptıkları aktiviteye göre farklılık göstermektedir. Restoran ve dans pistleri gibi yapıları kullanan insanlar, yerçekimi ivmesinin yüzde 2.5 'ine varan ivmelerde rahatsız olmadan yapıları kullanabilmektedir. Ancak konut tipi yapılarda bulunan insanlar yerçekimi ivmesinin yüzde 0.5'ine ulaşan ivmelerden bile rahatsız olmaktadır.

Daha önce sunulmuş olan Şekil 3.17'de Allen ve Murray (1993) tarafından geliştirilen, yapıların kullanım durumlarına ve titreşim frekanslarına bağlı olarak yapıyı kullananların algı eşikleri gösterilmiştir.

3.2.2. Birinci Döşeme Sistemine İlişkin Hesaplar

ETABS programı kullanılarak gerçekleştirilen sonlu elemanlar yöntemi çözümlerinden elde edilen döşeme sehim değerleri Şekil 3.18 de gösterilmektedir. Bu şekillerden görüldüğü gibi; kalıcı yükler etkisinde maksimum sehim 10,88 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.18. Döşeme Sehim Değerleri Görünümü (kalıcı yükler için)

3.2.2.1. Yönetmelik Hükümleri Dikkate Alınarak Yapılan Hesaplar

Döşeme Titreşimlerinin “Design Guide for Vibrations of Reinforced Concrete Floor Systems” ve “AISC Steel Design Guide 11 ile Değerlendirilmesi:

Belirtilen tasarım kılavuzuna göre hesap yapabilmek için ani sehimin (düşey deplasmanın) belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu sehimin; ETABS programı yardımıyla oluşturulan modelden elde edilen değerleri aşağıda sunulmaktadır:

$$\Delta_{DL} = \text{Kalıcı (sabit) yükler altında hesaplanan deplasman} = 10,88 \text{ mm}$$

Bu sehim değeri (3.10) frekans bağıntısında yerine konduğunda, döşeme sisteminin frekansı;

$$f_n = \frac{18}{\sqrt{\Delta}} \rightarrow f_n = \frac{18}{\sqrt{10,88}} = 5,45 \rightarrow f_n = 5,45 \text{ Hz}$$

olarak belirlenebilir. Doğal frekansın belirlenmesinden sonra, ivmelenme oranının (3.1) bağıntısıyla belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için sayısal uygulamaya konu olan örneğe ait aşağıdaki değerler kullanılmaktadır:

$$\text{Döşeme sisteminin doğal frekansı} \rightarrow f_n = 5,45 \text{ Hz}$$

$$\text{Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen sınır değer} \rightarrow a_o / g = 0,05$$

$$\text{Sabit Kuvvet} \rightarrow P_o = 29 \text{ kgf}$$

$$\text{Döşeme sisteminin ağırlığı} \rightarrow W = 70 \text{ 000 kgf}$$

$$\text{Modal sönümlenme oranı} \rightarrow \beta = 0,02$$

Döşeme kullanım durumu ofis olduğunda titreşim hesapları:

Yukarıdaki değerler (3.1) bağıntısında yerine yazılırsa a_p/g ; yerçekimi ivmesinin bir kısmı olarak tahmini pik ivme, (g biriminde) için aşağıdaki bulgulara ulaşılmaktadır:

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_o \cdot \exp(-0,35 f_n)}{\beta \cdot W} \leq \frac{a_o}{g} \quad (3.1)$$

$$\frac{a_p}{g} = \frac{29 \cdot \exp(-0,35 \cdot 5,45)}{0,02 \cdot 70000} = 0,003(\%0,3)$$

$$\frac{a_p}{g} = 0,003(\%0,3) < (\%0,5)$$

Döşeme kullanım durumu spor salonu olduğunda titreşim hesapları:

Sonuç olarak f_n , rezonans titreşime neden olabilen en yüksek harmoniğin f inden daha yüksek yapılmalıdır.

$$f_n \geq f \sqrt{1 + \frac{k}{a_0/g} \cdot \frac{\alpha_i \cdot w_p}{w_t}} \quad (3.5)$$

$$(f_n)_{req'd} \geq f \sqrt{1 + \frac{k}{a_0/g} \cdot \frac{\alpha_i \cdot w_p}{w_t}} \quad (3.6)$$

Bu denklemden k , aktiviteye bağlı olan sabittir.

Dans için $k= 1,3$

Konser veya spor etkinliği için $k= 1,7$

Aerobik veya zıplama için $k= 2,0$

w_p : Döşeme üzerinde dağılmış katılımcıların birim alandaki etkili ağırlığı

w_t : Döşeme birim alandaki etkili ağırlık (alanda bulunan kişiler dahil)

$w_p = 20,55 \text{ kg/m}^2$ (4,2 psf) Çizelge 3.6.

$w_t = 700 \text{ kg/m}^2$ (143 psf) 1.Döşeme sisteminin birim alandaki etkili ağırlığı

$(f_n)_{req'd}$ =Minumum doğal titreşim frekansı

$$(f_n)_{req'd} \geq f \sqrt{1 + \frac{k}{a_0/g} \cdot \frac{\alpha_i \cdot w_p}{w_t}} \quad (3.6)$$

Birinci harmonik;

$$(f_n)_{req'd} \geq 2,75 \sqrt{1 + \frac{2}{0,05} \cdot \frac{1,5 \cdot 4,2}{143}} = 4,56 \text{ Hz} < f_n = 5,45 \text{ Hz} \checkmark$$

İkinci harmonik;

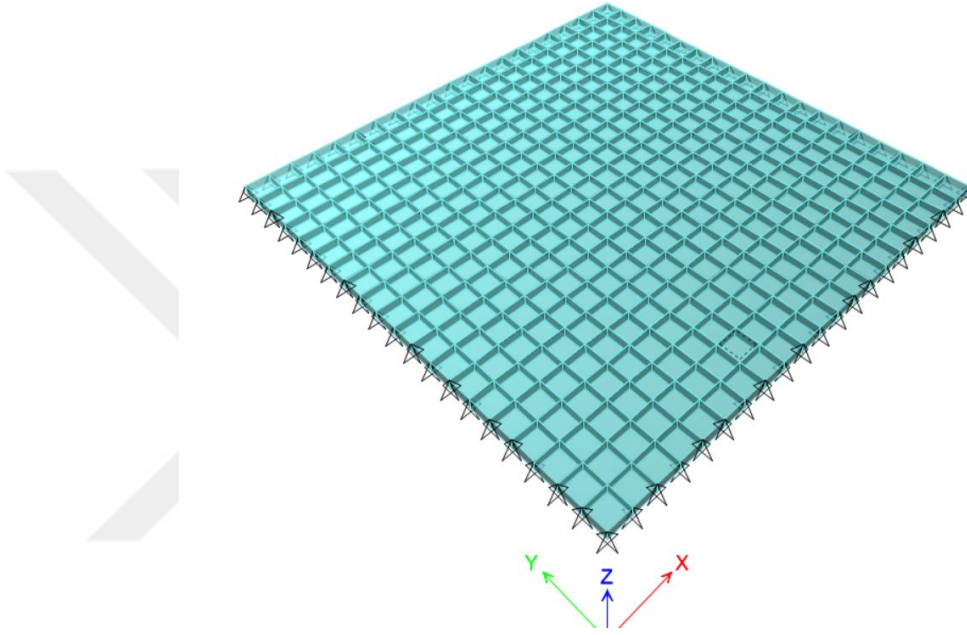
$$(f_n)_{req'd} \geq 5,5 \sqrt{1 + \frac{2}{0,05} \cdot \frac{0,6 \cdot 4,2}{143}} = 7,17 \text{ Hz} > f_n = 5,45 \text{ Hz} !!$$

Üçüncü harmonik;

$$(f_n)_{req'd} \geq 5,5 \sqrt{1 + \frac{2}{0,05} \cdot \frac{0,64,2}{143}} = 8,71 \text{ Hz} > f_n = 5,45 \text{ Hz} !!$$

3.2.2.2. Sonlu Elemanlar Modelleriyle Yapılan Hesaplar

Örnek olarak seçilen 1.döşeme sisteminin sonlu elemanlar modellemesi Şekil 3.19 dan görüldüğü gibi ETABS (2016) programı ile yapılmıştır.



Şekil 3.19. Birinci örnek döşemenin ETABS modelinin görünümü

Birinci örnek döşemenin ETABS (2016) yapısal analiz programı ile titreşim hesabı veri girişi aşağıda Şekil 3.20 de gösterilmektedir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen değerler şekil değiştirmiş hali Şekil 3.21 de sunulmaktadır.

Walking Vibration Data

General

Name: Ofis Yürüyüş
Story: Story1
Display Color: Change...
Notes: Modify/Show Notes...

Walking Parameters

Weight of Person Walking: 0.075 tonf
Peak Load Factor: 1.5
Walking Frequency (Steps/sec): 2 cyc/sec
Forward Speed: 1.5 m/sec
Duration of Impact: 0.5 sec

Modal Case and Modal Damping

Program Default
Ritz Modes per Step: 2
 User Specified
Modal Damping Ratio: 0.02

Peak Acceleration Threshold (Percentage of Gravity)

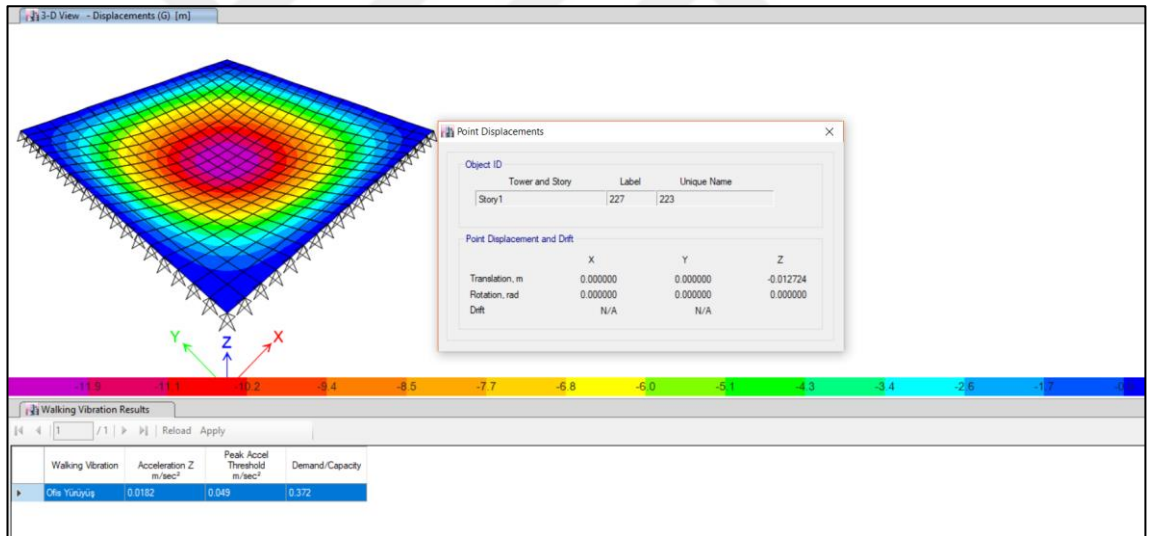
Offices, Residences: 0.5 %
 Dining & Dancing, Shopping Malls: 1.5 %
 Rhythmic Activities, Footbridges: 5. %
 User Specified: %

Walking Path

Point	X m	Y m
1	0	5
2	1	5
3	2	5
4	3	5

Add Delete OK Cancel

Şekil 3.20. Birinci örnek döşemenin ETABS modeli veri girişi görünümü

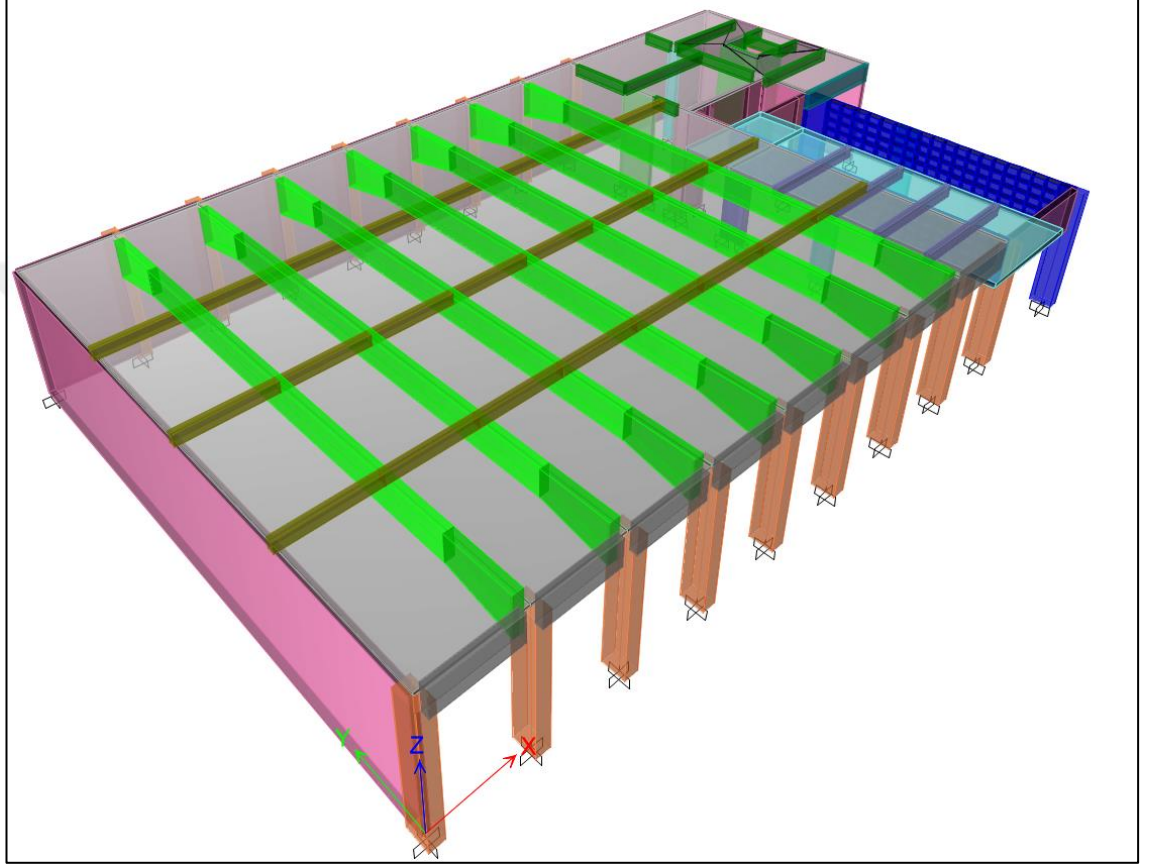


Walking Vibration Results			
Walking Vibration	Acceleration Z m/sec ²	Peak Accel Threshold m/sec ²	Demand/Capacity
	0.0182	0.049	
Ofis Yürüyüş	$\frac{a_p}{g} = \frac{0.0182}{9.81} = 0.001$ (%0.1)	$\frac{a_o}{g} = \frac{0.049}{9.81} = 0.005$ (%0.5)	0.372

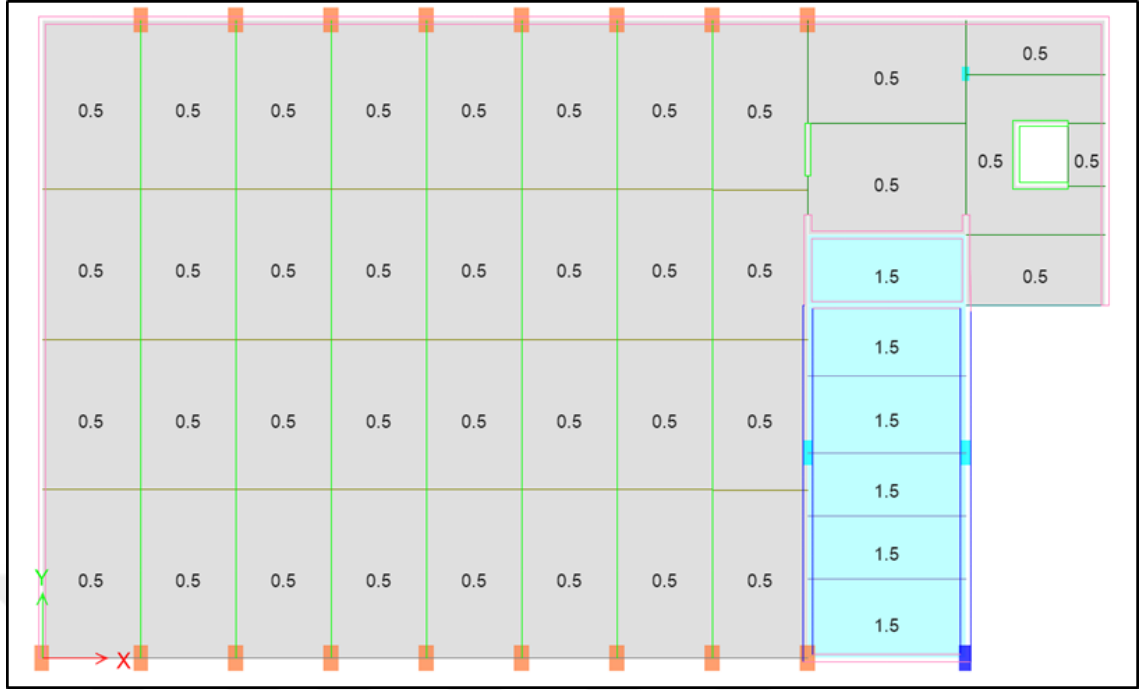
Şekil 3.21.ETABS programı titreşim hesabı sonuçları

3.2.3. İkinci Döşeme Sistemine İlişkin Hesaplar

İncelenen ikinci betonarme döşeme PROBİNA ORION (2016) ,SAP2000 (2016) ve ETABS (2016) programları kullanılarak projelendirilmiştir. ETABS programı üç boyutlu model görünümü ve plan görünümü Şekil 3.22 ve Şekil 3.23 de gösterilmektedir.

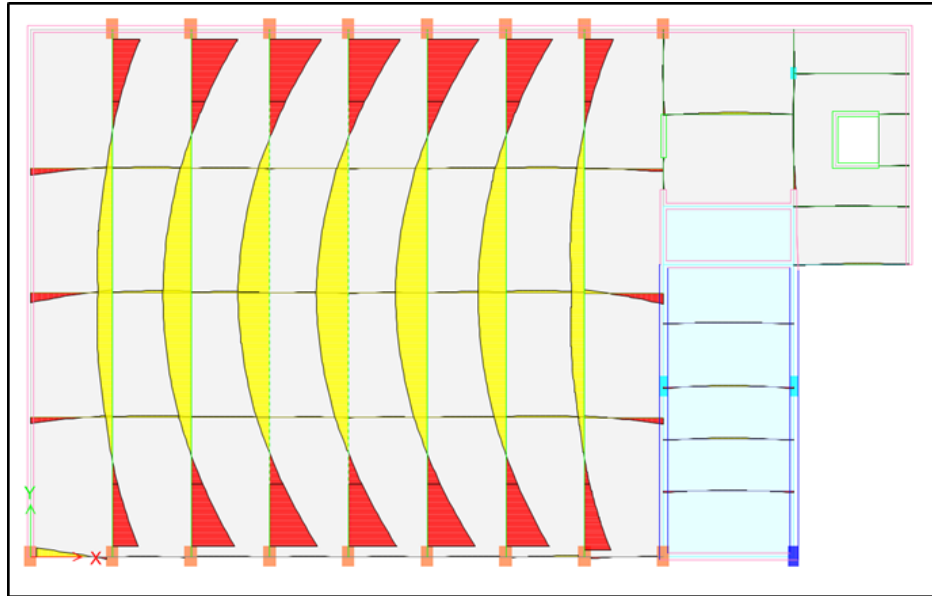


Şekil 3.22. İkinci örnek döşemenin ETABS modeli 3D görünümü

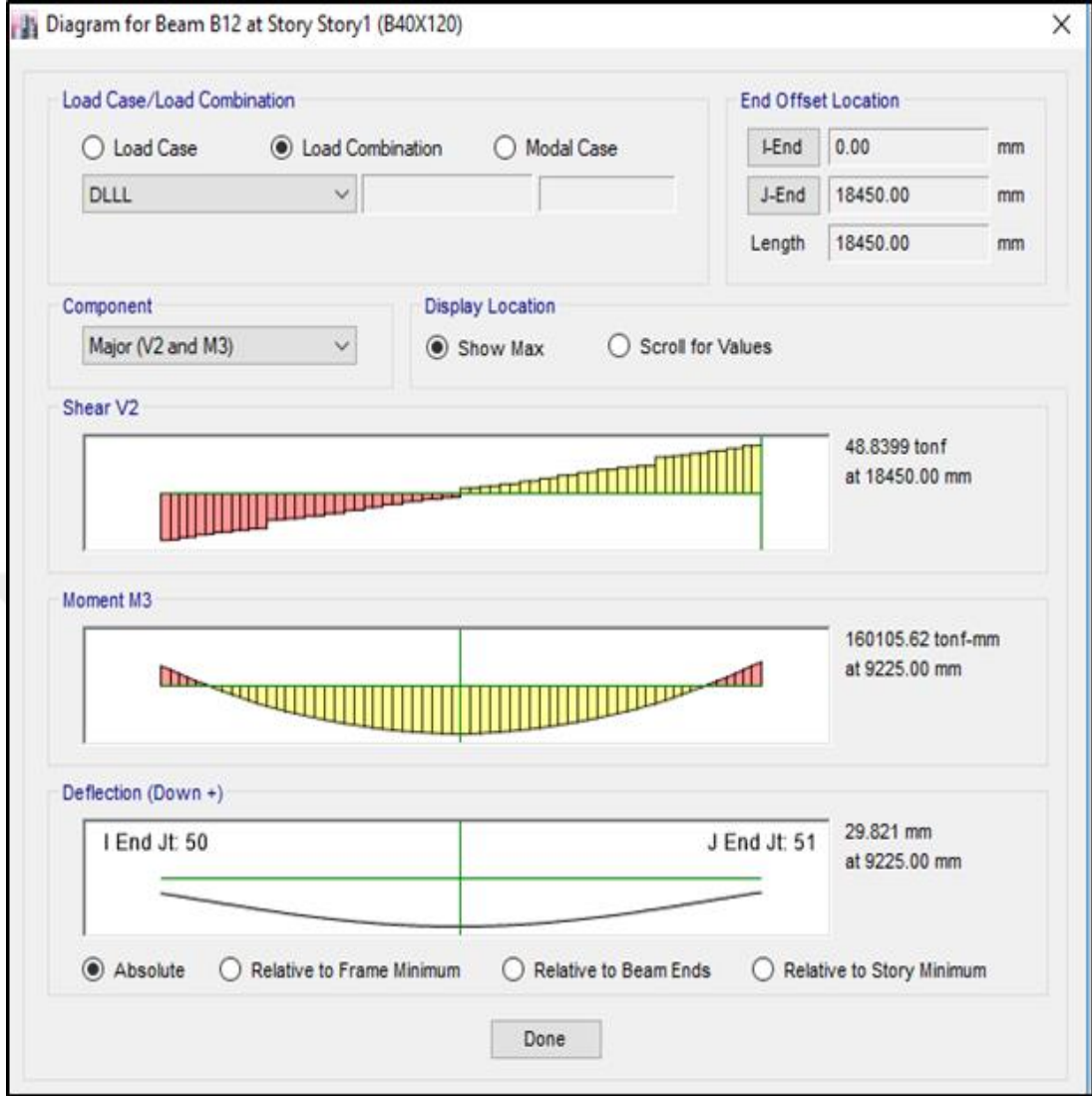


Şekil 3.25. İkinci örnek döşemeye etkiyen hareketli yükler

ETABS yapısal analiz programı yardımıyla sonlu elemanlar yöntemine göre elde edilen çözümden elde edilen moment diyagramını görünümü Şekil 3.26 da, kesit ve donatı tasarımına esas olacak şekilde ana kirişe ait kesme kuvveti moment değerleri ve sehim değerleri Şekil 3.27 de gösterilmektedir.

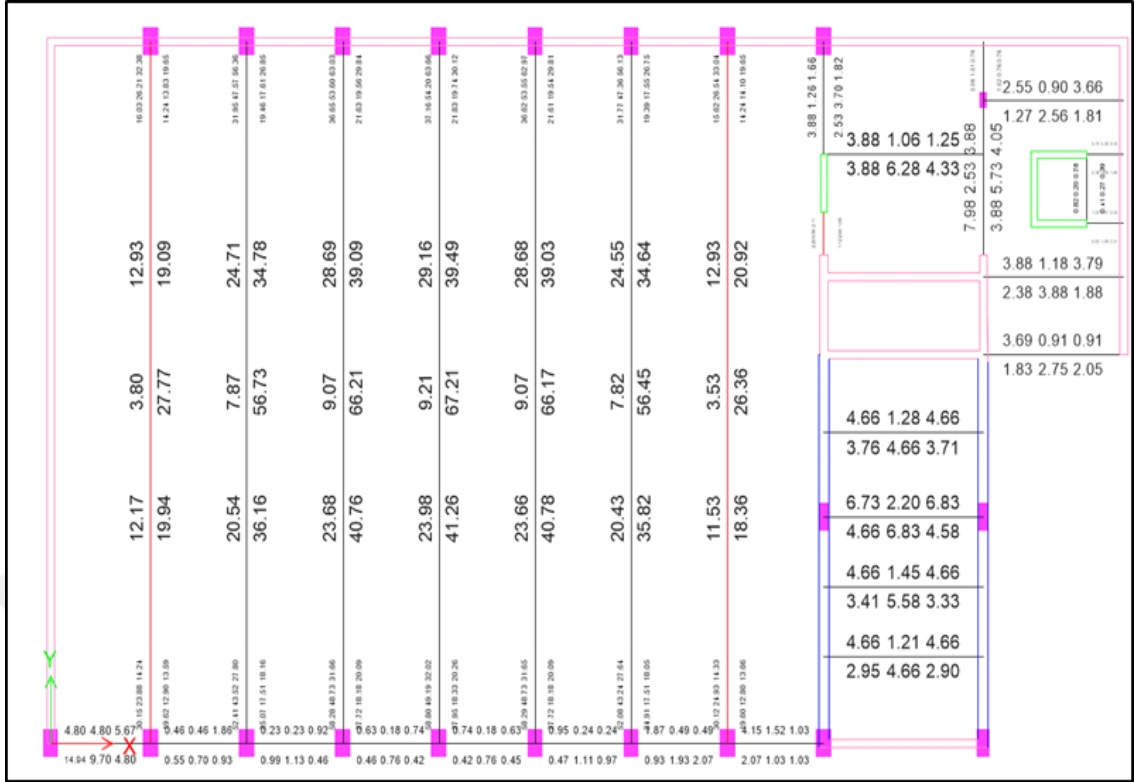


Şekil 3.26. İkinci örnek döşemede hesaplanan moment diyagramı



Şekil 3.27. Döşeme ana kirişinde elde edilen kesme, moment ve deplasman diyagramı

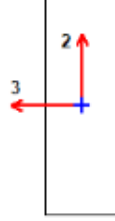
Yukarıda verilen diyagramlar dikkate alınarak yapılan kiriş donatı hesabı sonuçları Şekil 3.28, Şekil 3.29 ve Şekil 3.30 da gösterilmektedir. Alt donatı = 67 cm^2 , Üst Donatı = 9.21 cm^2 , Üst Mesnet = 63 cm^2



Şekil 3.28. Donatı hesabı sonuçları

ETABS 2016 Concrete Frame Design

TS 500-2000 Beam Section Design



Beam Element Details (Summary)

Level	Element	Unique Name	Section ID	Combo ID	Station Loc	Length (cm)	LLRF
Story1	B12	39	B40X120	1.4G+1.6Q	922.5	1845	1

Section Properties

b (cm)	h (cm)	b _r (cm)	d _s (cm)	d _{cl} (cm)	d _{cb} (cm)
40	120	40	0	4.5	4.5

Material Properties

E _c (tonf/cm ²)	f _{ck} (tonf/cm ²)	Lt.Wt Factor (Unitless)	f _{yk} (tonf/cm ²)	f _{ywk} (tonf/cm ²)
326.309	0.306	1	4.283	4.283

Design Code Parameters

γ _c	γ _s
1.5	1.15

Design Moment and Flexural Reinforcement for Moment, M_{d3}

	Design -Moment tonf-cm	Design +Moment tonf-cm	-Moment Rebar cm ²	+Moment Rebar cm ²	Minimum Rebar cm ²	Required Rebar cm ²
Top (+2 Axis)	-2922.913		6.91	0	9.21	9.21
Bottom (-2 Axis)		24391.032	0	67.21	12.93	67.21

Shear Force and Reinforcement for Shear, V_{d2}

Shear V _{d2} tonf	Shear V _c tonf	Shear V _s tonf	Shear V _p tonf	Rebar A _v /S cm ² /cm
5.2636	31.3085	18.0626	0	0.042

Torsion Force and Torsion Reinforcement for Torsion, T_d

T _d tonf-cm	T _{cr} tonf-cm	Area A _e cm ²	Perimeter, u _e cm	Rebar A _{st} /s cm ² /cm	Rebar A _{st} cm ² /cm
0.408	542.138	3294.6	296	0	0

Şekil 3.29. Kiriş 40x120 Donatı hesabı sonuçları

ETABS 2016 Concrete Frame Design

TS 500-2000 Beam Section Design



Beam Element Details (Summary)

Level	Element	Unique Name	Section ID	Combo ID	Station Loc	Length (cm)	LLRF
Story1	B13	40	B40X120X180	1.4G+1.6Q	300	350	1

Section Properties

b (cm)	h (cm)	b _f (cm)	d _s (cm)	d _{cl} (cm)	d _{cb} (cm)
40	180	40	0	4.5	4.5

Material Properties

E _c (tonf/cm ²)	f _{ck} (tonf/cm ²)	Lt.Wt Factor (Unitless)	f _{yk} (tonf/cm ²)	f _{yk} (tonf/cm ²)
326.309	0.306	1	4.283	4.283

Design Code Parameters

γ _c	γ _s
1.5	1.15

Section is nonprismatic.

Design Moment and Flexural Reinforcement for Moment, M_{d1}

	Design -Moment tonf-cm	Design +Moment tonf-cm	-Moment Rebar cm ²	+Moment Rebar cm ²	Minimum Rebar cm ²	Required Rebar cm ²
Top (+2 Axis)	-37557.383		63.66	0	19.65	63.66
Bottom (-2 Axis)		18778.691	0	30.12	19.65	30.12

Shear Force and Reinforcement for Shear, V_{d2}

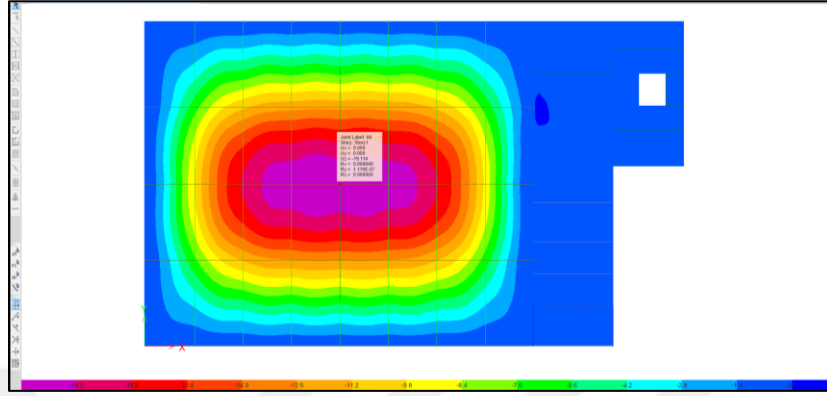
Shear V _{d2} tonf	Shear V _c tonf	Shear V _s tonf	Shear V _p tonf	Rebar A _v /s cm ² /cm
94.5643	47.5726	46.9917	0	0.0719

Torsion Force and Torsion Reinforcement for Torsion, T_d

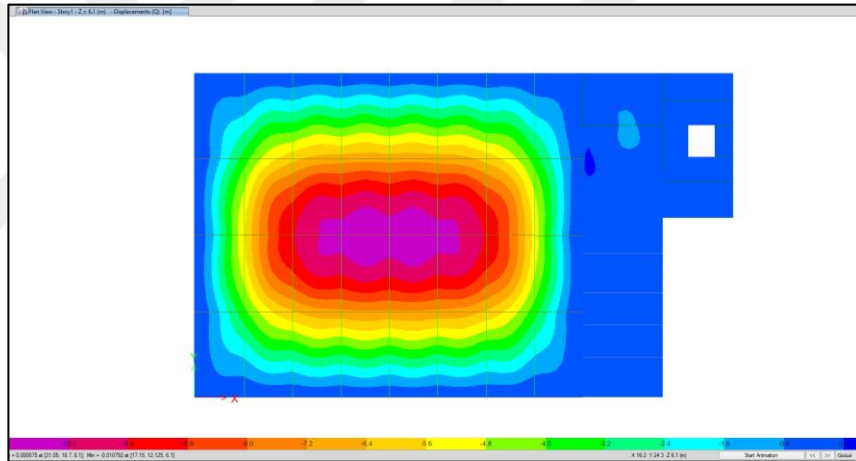
T _d tonf-cm	Tcr tonf-cm	Area A _c cm ²	Perimeter, u _c cm	Rebar A _{st} /s cm ² /cm	Rebar A _{st} cm ² /cm
0.304	813.207	8028.6	416	0	0

Şekil 3.30. Kiriş 40 x 120 x 180 Donatı hesabı sonuçları

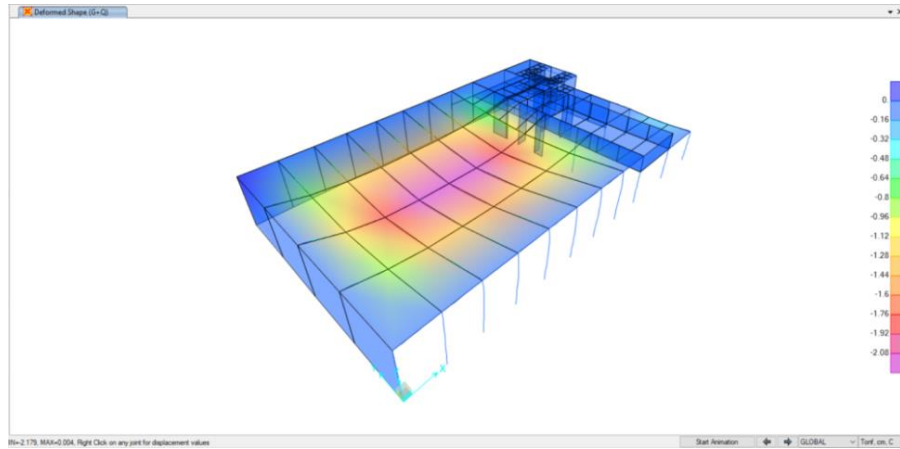
Sonlu elemanlar çözümlerinden elde edilen sehim değerleri Şekil 3.31, Şekil 3.32 ve Şekil 3.33 de gösterilmektedir. Kalıcı yükler etkisinde maksimum sehim=19 mm, hareketli yükler etkisinde maksimum sehim=10 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.31. Döşeme sehim değerleri görünümü (kalıcı yükler altında)



Şekil 3.32. Döşeme sehim değerleri görünümü (hareketli yükler altında)



Şekil 3.33. Döşeme sehim değerleri görünümü (Döşeme ve Kaplama Ağırlığı)

Maksimum sehim= 19 mm

3.2.3.1.Yönetmelik Hükümleri Dikkate Alınarak Yapılan Hesaplar

Döşeme Titreşimlerinin “*Design Guide for Vibrations of Reinforced Concrete Floor Systems*” ve “*AISC Steel Design Guide 11*” ile değerlendirilmesi;

Yaklaşım 1:

Bu yaklaşımda aşağıdaki formül yardımı ile sistemin tahmin edilen maksimum ivmesi bulunarak, limit değerinin altında kaldığı doğrulandığında titreşim problemin olmayacağı kabul edilmektedir.

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_o \cdot \exp(-0,35 f_n)}{\beta \cdot W} \leq \frac{a_o}{g} \quad (3.1)$$

a_p/g = Tahmini maksimum düşey ivme, g

f_n = Döşeme sisteminin doğal frekansı, Hz(Zati+Sabit)

a_o/g = Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen limit değer (Şekil 3.17)

P_o = Sabit Kuvvet Döşemeler için 0. 29 kN, Yaya köprüleri için 0. 41 kN

W = Döşeme sisteminin ağırlığı, kN (Zati+Sabit Yükler)

β = Modal sönümlenme oranı

Δ = Kiriş açıklığının orta noktasında oluşan sehim

Tavsiye edilen yük, sönüm oranı ve ivmelenme oranı limit değerleri Çizelge 3.4.’den alınmaktadır.

Malzeme özellikleri;

Beton C30 kalite olarak belirlenmiştir.

$$E_c = 3180000 \text{ t/m}^2$$

“*Design Guide for Vibrations of Reinforced Concrete Floor Systems*” kılavuzu doğrultusunda dinamik hesap yapılırken beton malzemenin elastisite modülü 1,2 sabit katsayısı ile çarpılarak arttırılmaktadır.

$$E_{c,d} = 1.2 \times E_c = 3816000 \text{ t/m}^2$$

Kiriş ve döşeme kesit özellikleri:

Net kiriş açıklığı : 24,45 m

Ana Kiriş Boyutları : Kiriş genişliği 0,40 m , kiriş yüksekliği 1,20 m

Tali Kiriş Boyutları : Kiriş genişliği 0,30 m , kiriş yüksekliği 0,50 m

Kolon Boyutları : 0,60 m x 1 m

Ana Kiriş Ara Mesafeleri :3,80 m

Tali Kiriş Ara Mesafeleri :6,125 m

Döşeme Kalınlığı : 0,12 m

Döşeme Yük Dağılımı:

Döşeme Yüğü : 0,12m x 2,5 t/m³ = 0,3 t/m²

Kaplama Yüğü : 0,2 t/m²

Toplam Döşeme Ağırlığı :0,3 t/m² x 26,45m x 30,7m = 243,6 t

Toplam Kiriş Ağırlığı (40x120) :0,4x(1,2-0,12)x26,45x2,5 =28,57 t x7 adet = 200 t

Toplam Kiriş Ağırlığı (30x50):0,3x(0,5-0,12)x3,4x2,5x24 adet =28,57 t x7 adet = 23 t

Toplam Kaplama Ağırlığı :0,2x26,45x30,7=162,5 t

Toplam Ağırlık : 630 t

Tasarım aşaması titreşim frekansı :

ETABS programından alınan deplasman değerleri :

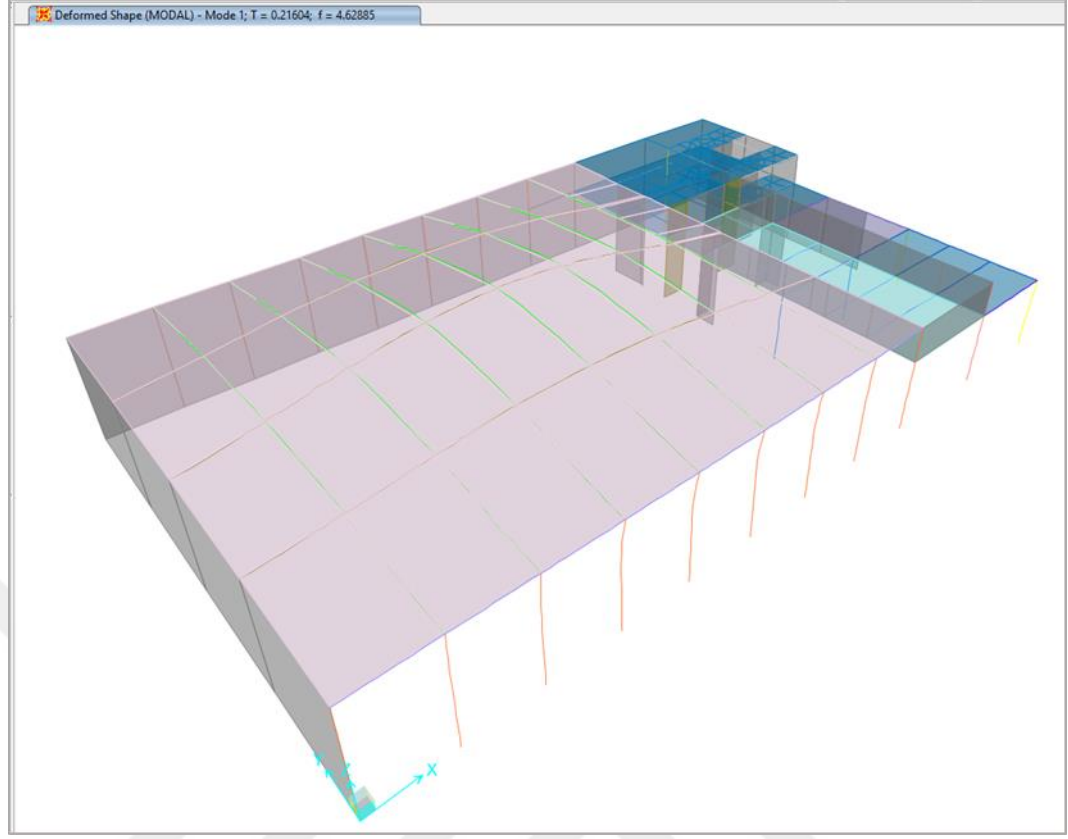
Δ_{DL} = Zati yükler altında deplasman = 19 mm

Tasarım durumu titreşim frekansı:

$$f_n = \frac{18}{\sqrt{19mm}} = 4,13 \text{ Hz} \quad (3.10)$$

Yerinde ölçümlerdeki doğal titreşim frekansı $f_n = 5,54 \text{ Hz}$

Sonlu elemanlar çözümü döşeme doğal titreşim frekansı değeri Şekil 3.34 de gösterilmiştir. $f_n = 4,6 \text{ Hz}$



Şekil 3.34. SAP2000 programından alınan doğal titreşim frekans değeri $f_n = 4.6$ Hz

Mevcut durum titreşim hesabı :

a_p/g = Tahmini maksimum düşey ivme, g

$$f_n = 5,54 \text{ Hz}$$

$$a_0/g = 0,025$$

$$P_0 = 0,29 \text{ kN}$$

$$W = 6300 \text{ kN}$$

$$\beta = 0,056$$

50 kişi dans ettiğinde ivmelenme oranı;

$$\frac{a_p}{g} = \frac{(0,29 \cdot 50) \exp(-0,35 \cdot 5,54)}{0,056 \cdot 6300} = 0,006 (\%0,6) < \%2 \checkmark \quad (3.1)$$

100 kişi dans ettiğinde ivmelenme oranı;

$$\frac{a_p}{g} = \frac{(0,29 \cdot 100) \exp(-0,35 \cdot 5,54)}{0,056 \cdot 6300} = 0,011 (\%1,1) < \%2 \checkmark$$

150 kişi dans ettiğinde ivmelenme oranı;

$$\frac{a_p}{g} = \frac{(0,29*150) \exp(-0,35*5,54)}{0,056*6300} = 0,018(\%1,8) < \%2 \checkmark$$

200 kişi dans ettiğinde ivmelenme oranı;

$$\frac{a_p}{g} = \frac{(0,29*200) \exp(-0,35*5,54)}{0,056*6300} = 0,023(\%2,3) < \%2!$$

250 kişi dans ettiğinde ivmelenme oranı;

$$\frac{a_p}{g} = \frac{(0,29*250) \exp(-0,35*5,54)}{0,056*6300} = 0,030(\%3) > \%2!$$

Harmonik ritmik etki için ivmelenme oranı hesabı;

Aktivite :Dans etme

$f_n > 1,2f$ durumunda ivmelenme oranı;

$$w_p = 60 \text{ kg/m}^2$$

$$w_t = 630000 \text{ kg}/(30 \text{ m} \times 26,45 \text{ m}) = 775 \text{ kg/m}^2$$

$$\frac{a_p}{g} = \frac{1,3}{\left(\frac{f_n}{f}\right)^2 - 1} \cdot \frac{\alpha_i \cdot w_p}{w_t} \quad (3.4)$$

$$\frac{a_p}{g} = \frac{1,3}{\left(\frac{5,54}{3}\right)^2 - 1} \cdot \frac{0,5 \cdot 60}{775} = 0,020(\%2) \geq \%2!!$$

Döşeme sisteminin Türk halk oyunlarının neden olduğu zorlanmış geçici titreşime maruz kalmış bir döşeme sistemi olarak incelendiğinde aktivitenin aerobik veya zıplama olarak değerlendirilip titreşim hesaplarının yapılması gerekmektedir.

Aktivite :Aerobik veya zıplama

$(f_n)_{req'd}$ =Minumum doğal titreşim frekansı

$$(f_n)_{req'd} \geq f \sqrt{1 + \frac{k}{\alpha_0/g} \cdot \frac{\alpha_i \cdot w_p}{w_t}} \quad (3.6)$$

Birinci harmonik

$$(f_n)_{req'd} \geq 2,75 \sqrt{1 + \frac{2}{0,05} \cdot \frac{1,5 \cdot 60}{775}} = 6,53 \text{ Hz} > f_n = 5,45 \text{ Hz} !$$

İkinci harmonik

$$(f_n)_{req'd} \geq 5,5 \sqrt{1 + \frac{2}{0,05} \cdot \frac{0,6 \cdot 60}{775}} = 9,29 \text{ Hz} > f_n = 5,45 \text{ Hz} !!$$

Üçüncü harmonik

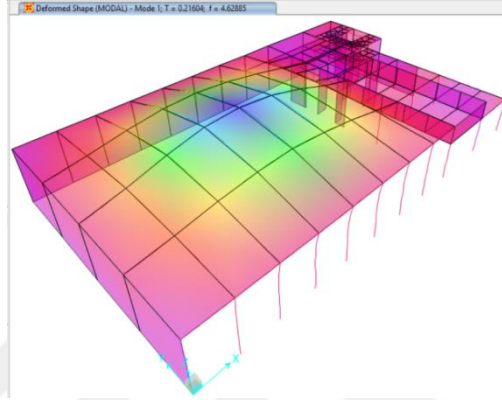
$$(f_n)_{req'd} \geq 8,25 \sqrt{1 + \frac{2}{0,05} \cdot \frac{0,1 \cdot 60}{775}} = 9,45 \text{ Hz} > f_n = 5,45 \text{ Hz} !!$$

Mevcut durum titreşim hesabı sonuçlarının değerlendirilmesi:

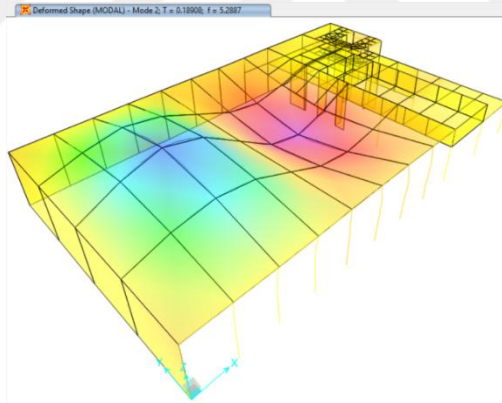
“Design Guide for Vibrations of Reinforced Concrete Floor Systems” ve “AISC Steel Design Guide 11” tasarım kılavuzları doğrultusunda yapılan hesaplar sonucunda, insan hareketleri etkisinde döşeme sisteminin yapmış olduğu titreşim hareketinin ivmesinin, yerçekimi ivmesine oranı 250 kişi dans ettiğinde %3’tür. Döşeme sistemi düğün salonu olarak da kullanılabilen yapıya ait bir döşeme olduğu için Şekil 3.17’de gösterildiği gibi % 2 ivmelenme oranı dans pistleri yapıları için sınır değerdir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda döşeme sisteminin dans pistleri yapılarında gerekli olan titreşim kriterlerini sağlamadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Türk halk oyunlarının döşeme üzerinde oluşturduğu dinamik etkilere görede döşeme doğal titreşim frekansının f_n rezonans titreşime neden olabilen en yüksek harmoniğin f ’inden daha küçük olduğu görülmüş ve titreşim kriterlerini sağlamadığı sonucuna varılmıştır.

3.2.3.2. Döşeme Mod Şekilleri

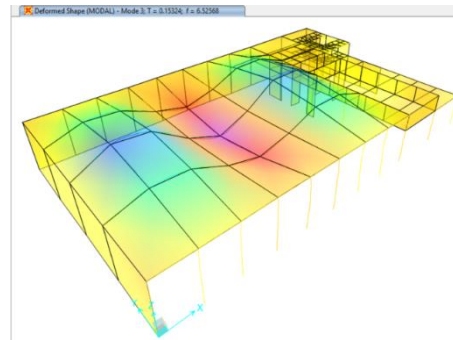
Yapılan modellemelere göre gerçekleştirilen dinamik analizler sonucunda elde edilen ilk 5 mod şekli Şekil 3.35-Şekil 3.39 da sunulmaktadır. Bu şekillerde sunulan mod şekilleri irdelendiğinde oluşan modların bu tür mesnetlenme şekline sahip bir döşemede beklenen mod şekilleri olduğu söylenebilir. İlk mod şekli döşeme orta kısmının düşey yönde titreşim hareketi ile oluşmuştur.



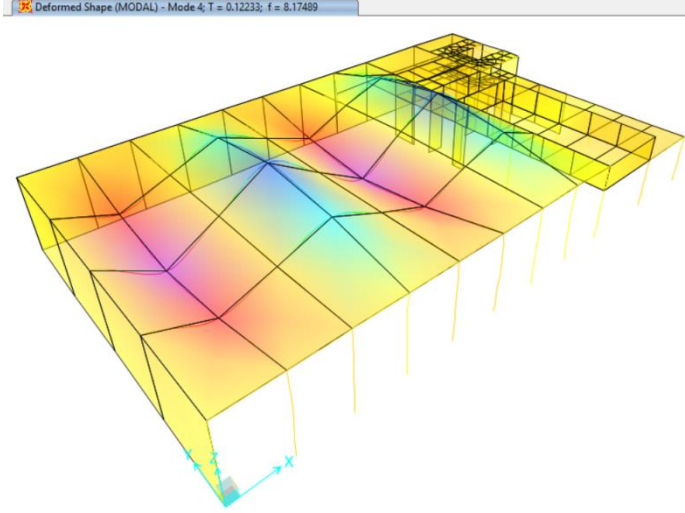
Şekil 3.35. Mod 1 $f=4.62$ Hz



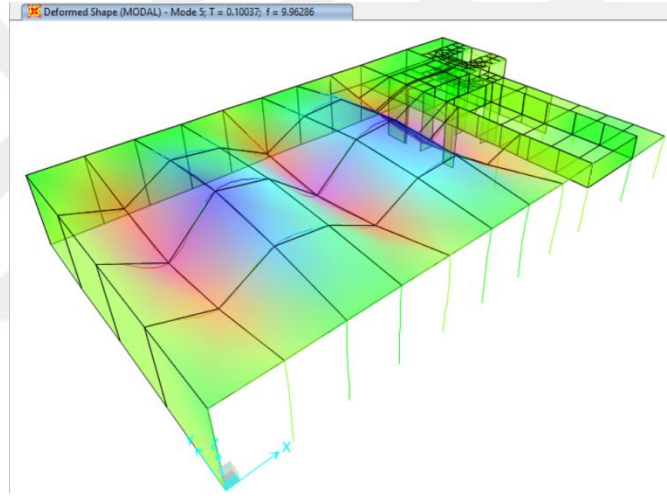
Şekil 3.36. Mod 2 $f=5.28$ Hz



Şekil 3.37. Mod 3 $f=6.52$ Hz



Şekil 3.38. Mod 4 $f= 8.17$ Hz

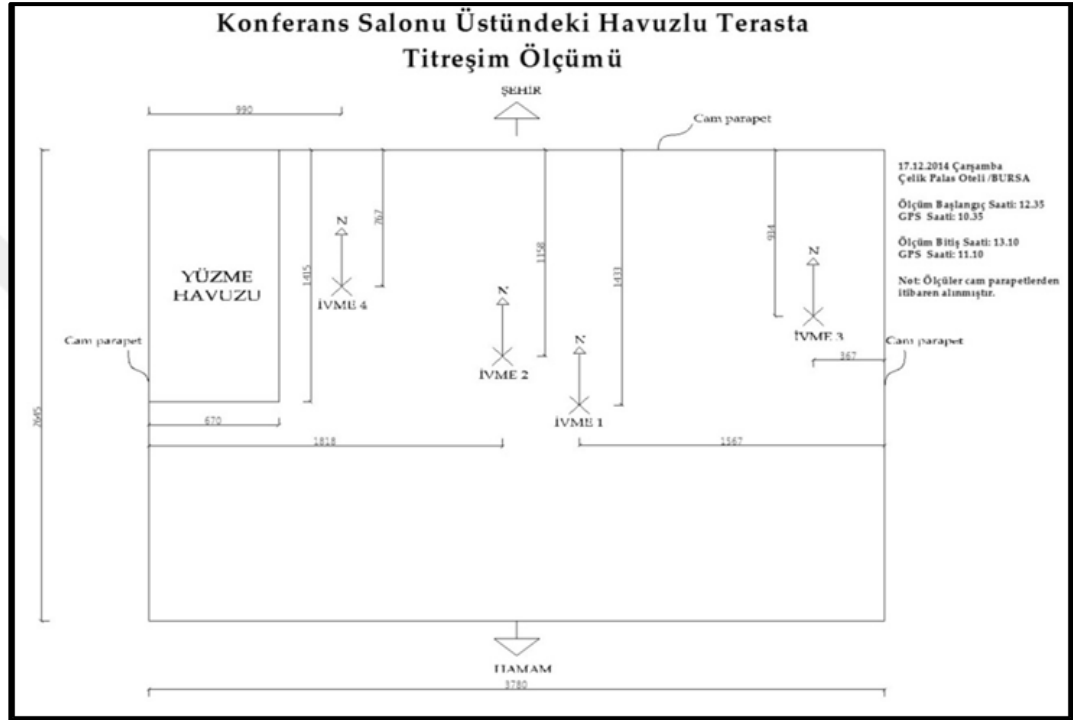


Şekil 3.39. Mod 5 $f= 9.96$ Hz

3.2.3.3. Döşeme Sistemine İlişkin Yapılan Ölçümler

Bursa şehir merkezinde bulunan ve fotoğrafları Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 de gösterilmiş olan ikinci örnek döşemenin dinamik karakteristiklerini belirlemek amacıyla, çevresel etkilerden kaynaklanan titreşim ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm için yerleştirilen ivme ölçerlerin döşeme üzerindeki konumları Şekil 3.40 da görülmektedir. Büyük açıklıklı konferans salonunun üstünde yer alan, açık terasta seramik ile kaplı olan terasta, seramiklerden bir tanesi alınarak beton yüzey ortaya çıkarılmıştır. Beton yüzey matkapla delinerek KB12VD modeli tek eksenli ivmeölçer düşey ekseninde titreşim ölçümü yapacak şekilde dübel ve vida kullanılarak monte edilmiştir (Şekil 3.41). Bu ivme ölçerin hemen yanında CMG-5TCDE ivme ölçerlerden bir tanesi çıplak beton

yüzeyi üzerine, bir diğeri CMG-5TCDE seramik kaplamanın üzerine montaj yapılmaksızın konulmuştur (Şekil 3.42). Bu ölçüm sistemi sayesinde, beton yüzeye ankrajlanan KB12VD modeli ivmeölçer ile bulunan frekans sonuçları referans kabul edilerek, beton üzerinde ve fayans kaplama üzerinde montaj yapılmadan konulan CMG-5TCDE ivmeölçerler ile elde edilen frekans sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.40. İvmeölçerlerin döşeme üzeri yerleşim planı

Betona ankrajlanan KB12VD ivmeölçeri referans kabul edildiğinde, hem beton yüzey üzerine hem de seramik kaplama üzerine konulan CMG-5TCDE ivmeölçerler ile bulunan frekansların betona ankrajlanmış olan referans ivmeölçer ile bulunan sonuçlar ile çok yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca, beton üzerine koyulan CMG-5TCDE ivme ölçer ile Çizelge 4.1 den görüldüğü gibi seramik üzerine konulan CMG-5TCDE ivme ölçer ile birinci mod periyodu için aynı sonucun bulunduğu görülmüştür. Bu karşılaştırmanın sonucu, CMG-5TCDE ivme ölçerlerin montaj gerektirmeden kaplama üzerine konularak uygulanabileceği görülmüştür. Bu durumun ölçümlerin yapılacağı binalarda, bina sahiplerinden izin alabilmeyi kolaylaştıracağı değerlendirilmiştir (Kaplan 2018).



Şekil 3.41.CMG-5TCDE ve KB12VD ivmeölçerlerinin yerleşimi genel görünümü

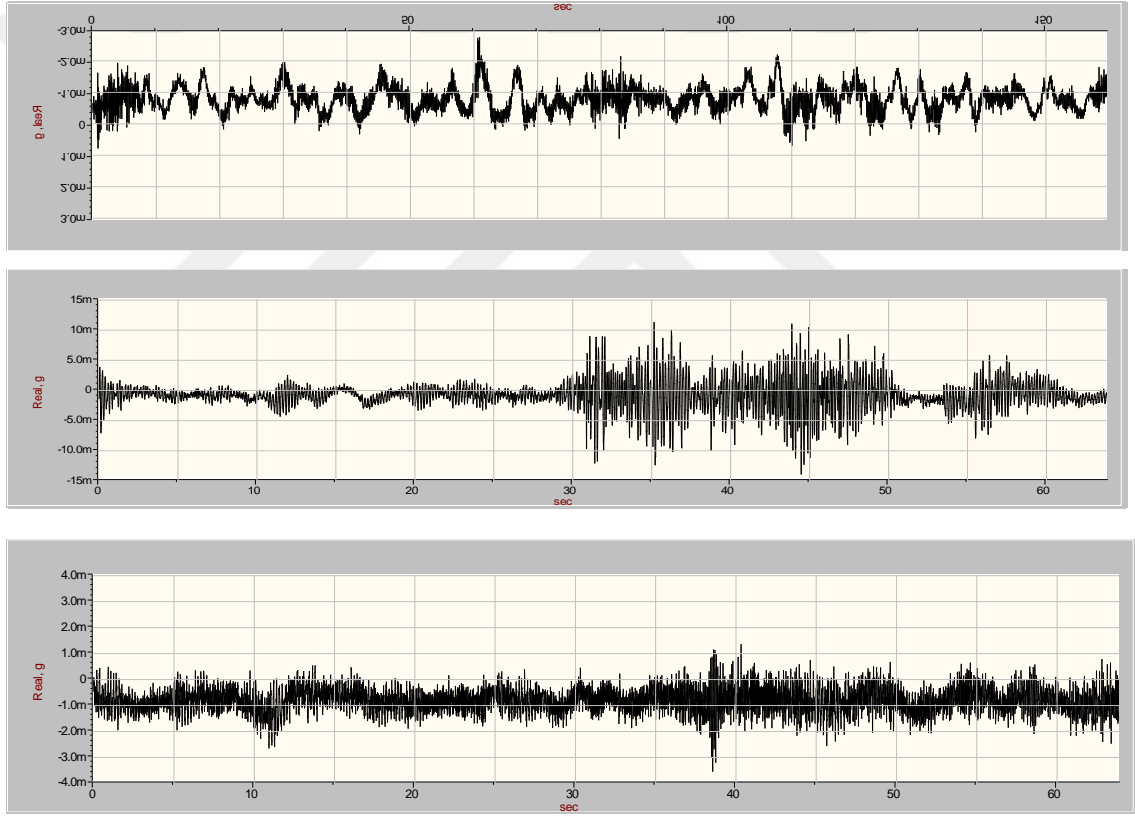


Şekil 3.42. Seramik kaplama üzerine yerleştirilen CMG-5TCDE ivmeölçer kullanımı

Bu döşemede biri Uludağ Üniversitesi, diğeri Anadolu üniversitesi ölçüm sistemleri tarafından iki farklı aletsel ölçüm gerçekleştirilmiştir.

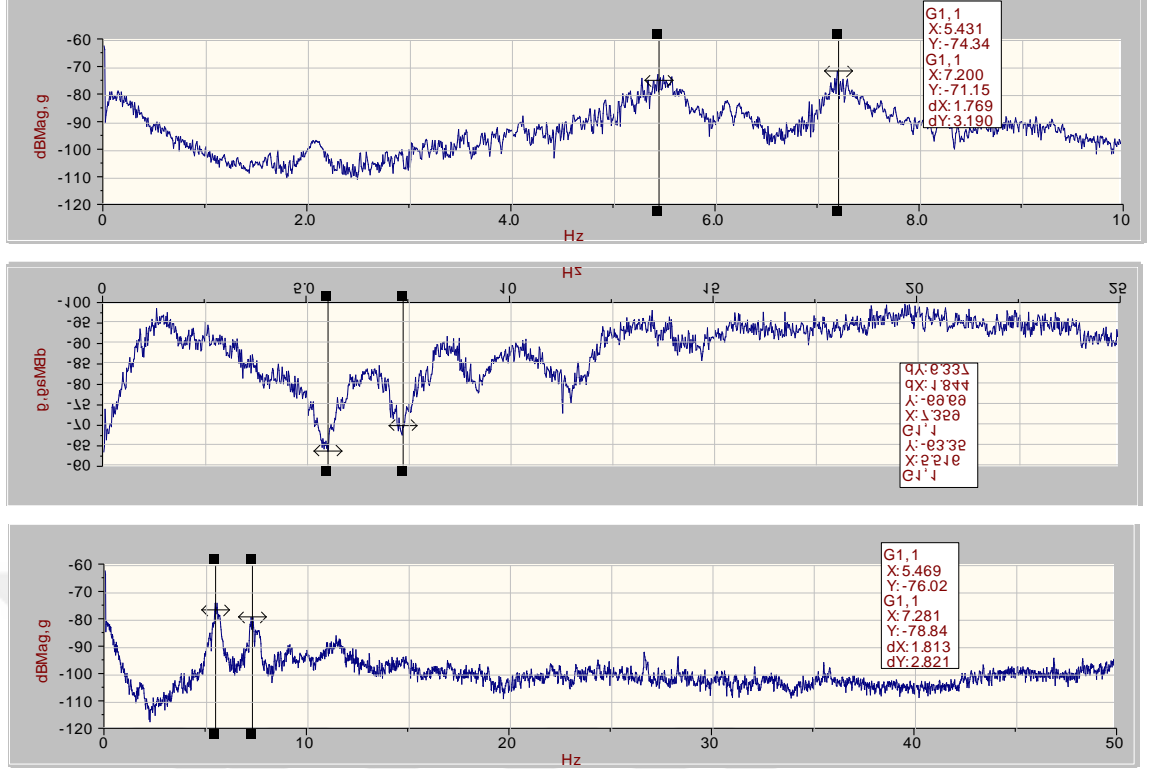
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ ÖLÇÜMÜ:

Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmanın 2. Uygulamasına konu olan döşeme sistemi için elde edilen kayıtların Sıgnalcalc programında incelenmesi aşağıdaki şekilllerde görülmektedir. 10 Hz, 25 Hz ve 50 Hz olmak üzere üç farklı frekans aralığı seçilmiştir. Bu frekans değerleri için döşemenin hakim titreşim doğrultusu olan z doğrultusunda elde edilen kayıtların zamanla değişimleri Şekil 3.43 de görülmektedir.

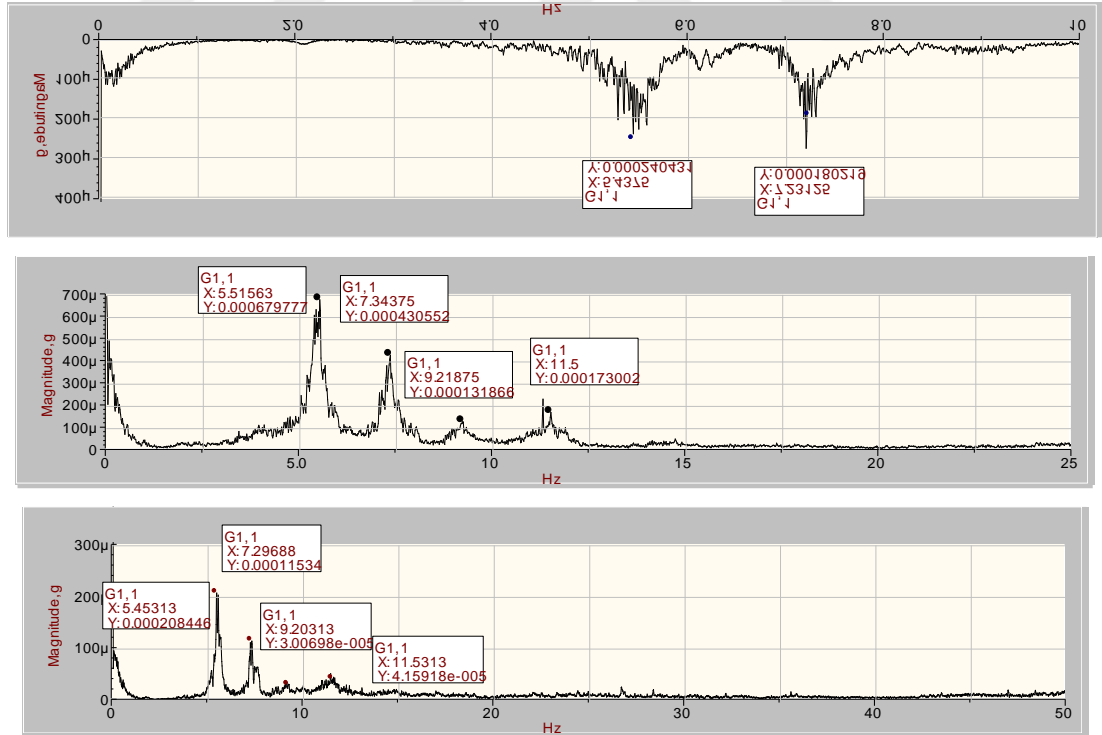


Şekil 3.43. Uygulama 2 için 10Hz, 25 Hz ve 50 Hz için zaman alanında z doğrultusu real, g verileri

Yukarıda belirtilen frekans değerleri için z doğrultusunda belirlenen güç spektrumları Şekil 3.44 de, frekansa bağlı olarak ivme genliklerinin değişimleri ise Şekil 3.45 de sunulmaktadır.

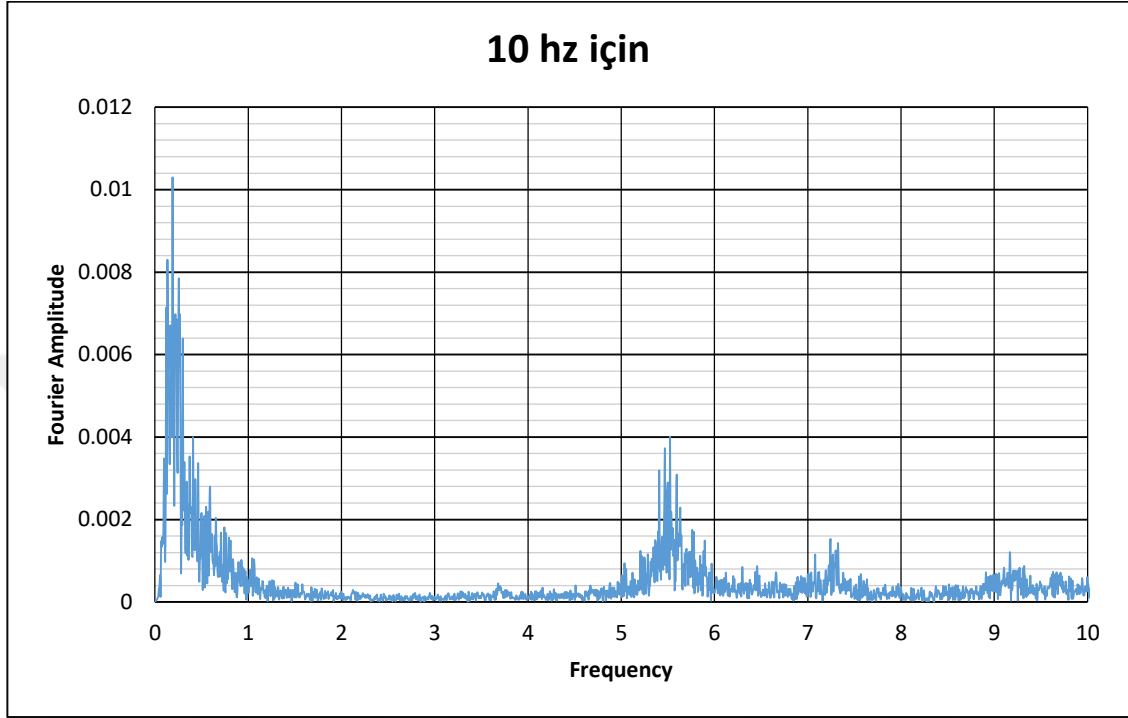


Şekil 3.44. Uygulama 2 için 10Hz, 25 Hz ve 50 Hz için Z doğrultusu güç spektrumları

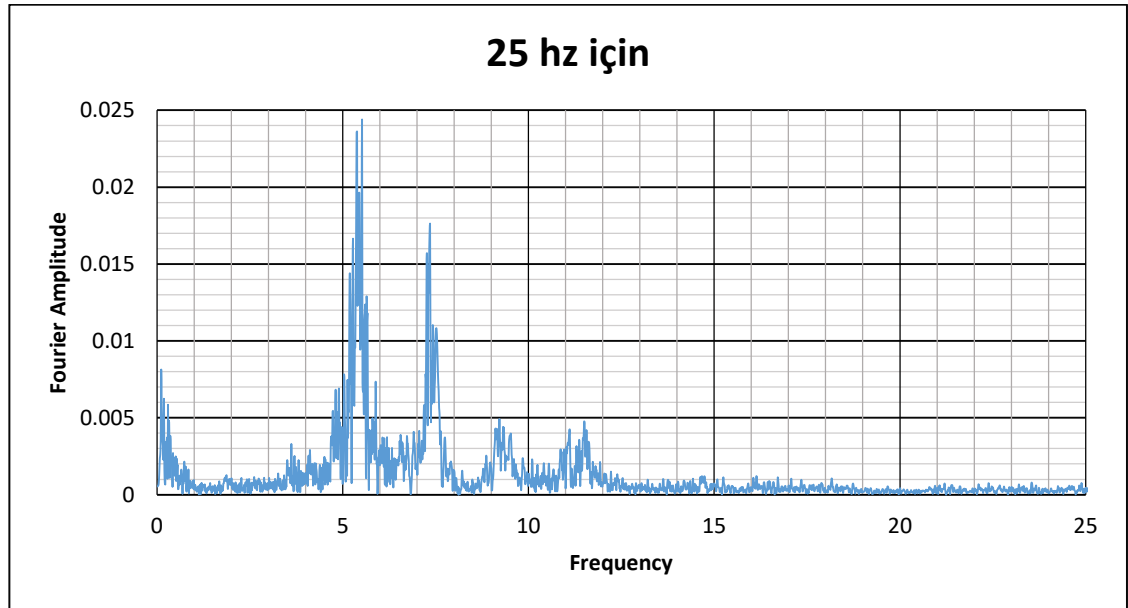


Şekil 3.45. Uygulama 2 için 10Hz, 25 Hz ve 50 Hz için z doğrultusu frekans-ivme genlikleri

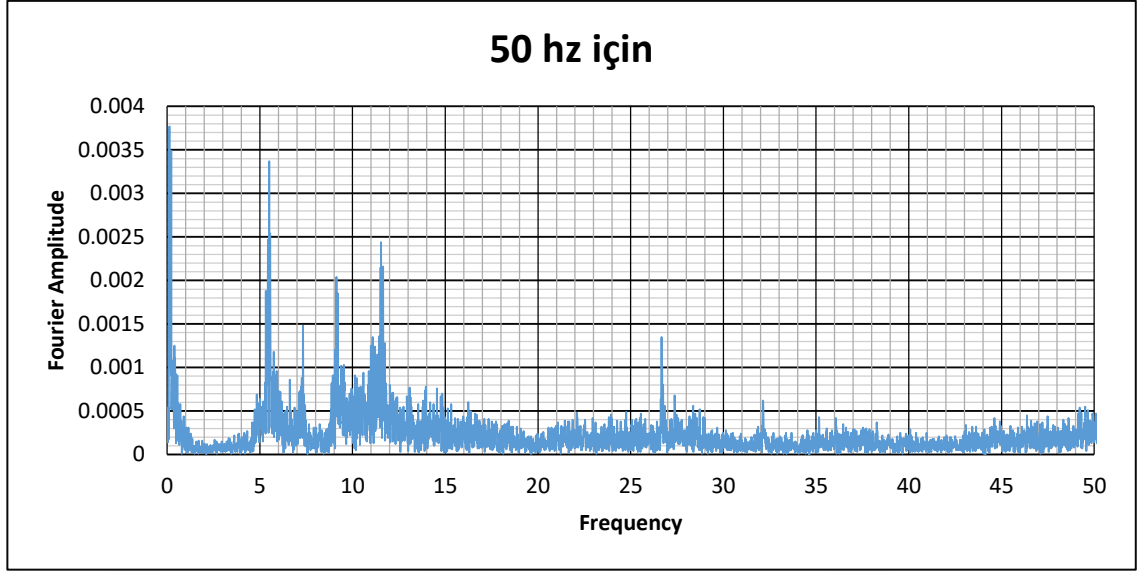
Tez kapsamındaki 2. Uygulama için z doğrultusunda frekans-ivme genliklerinin Seismosignal programında incelenmesi aşağıdaki şekillerde görülmektedir. Genlik-frekans grafikleri, 10 Hz için Şekil 3.46 da, 25 Hz için Şekil 3.47 de, 50 Hz için ise Şekil 3.48 de verilmektedir.



Şekil 3.46. Uygulama 2 için 10Hz için Fourier genlik- frekans grafiği

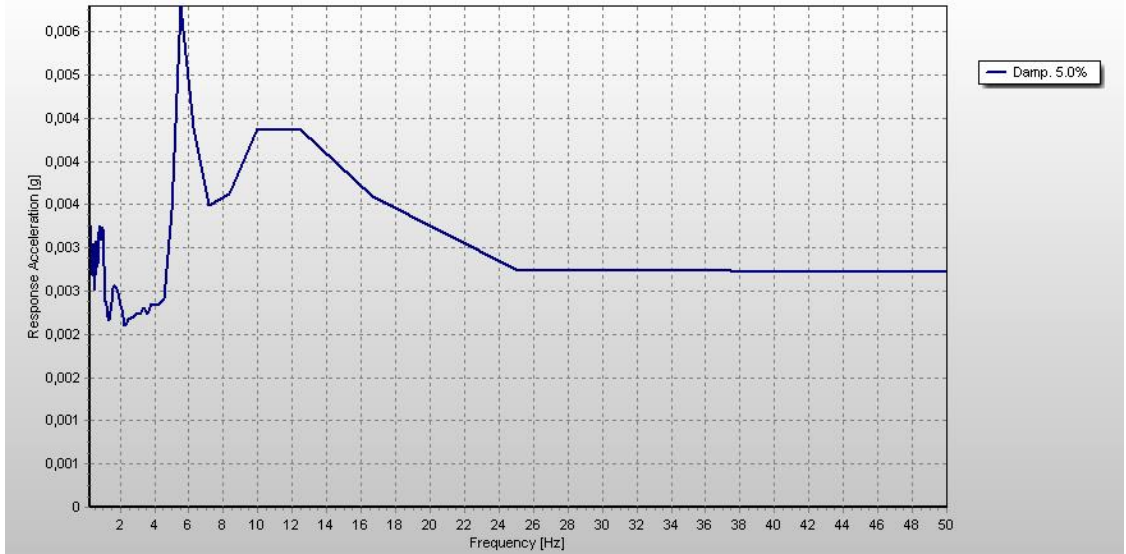


Şekil 3.47. Uygulama 2 için 25 Hz için Fourier genlik- frekans grafiği

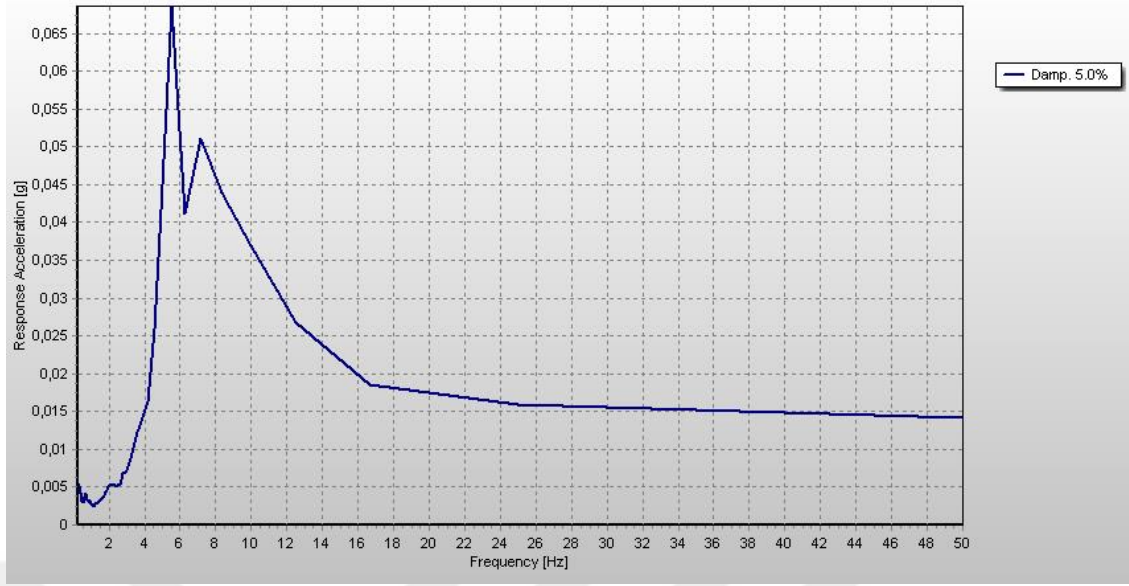


Şekil 3.48.Uygulama 2 için 50 Hz için Fourier genlik- frekans grafiği

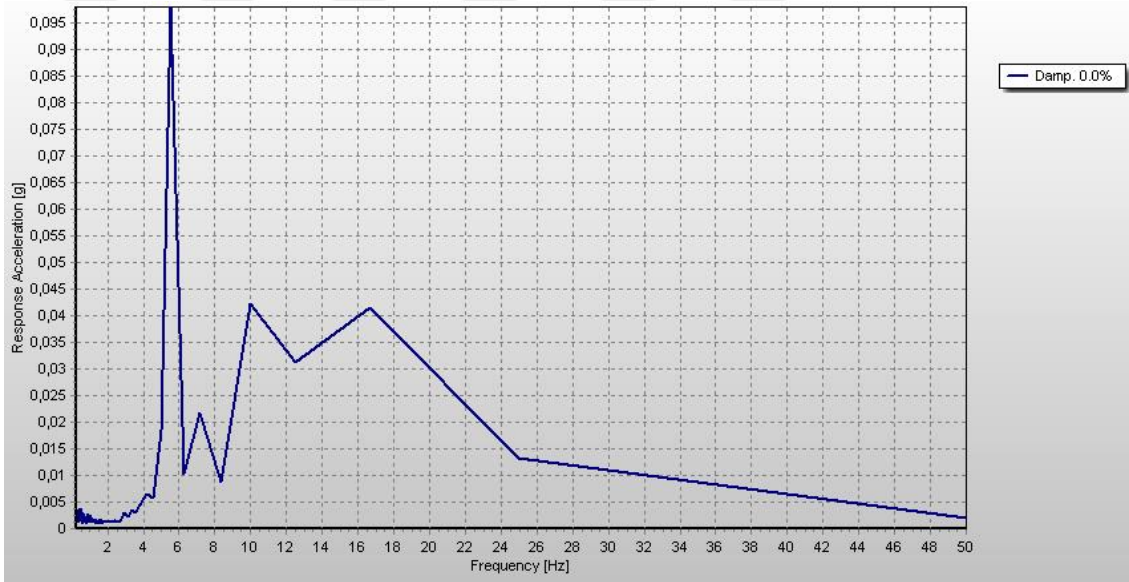
Belirlenen tepki ivmesi- frekans grafikleri, 10 Hz için Şekil 3.49 da, 25 Hz için Şekil 3.50 de, 50 Hz için ise Şekil 3.51 de verilmektedir.



Şekil 3.49. Uygulama 2 için 10 Hz için tepki ivmesi- frekans grafiği



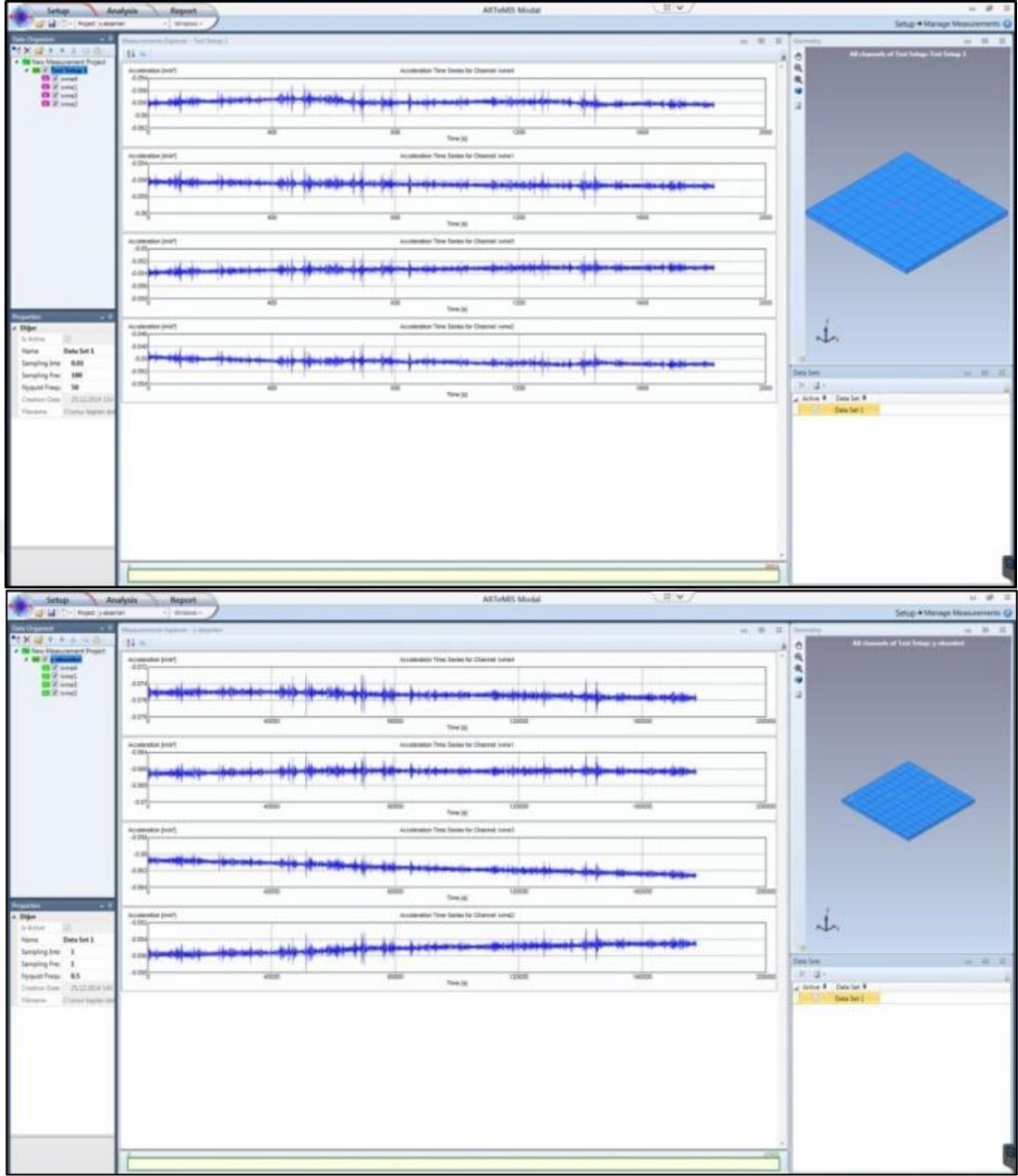
Şekil 3.50. Uygulama 2 için 25 Hz için tepki ivmesi- frekans grafiği



Şekil 3.51. Uygulama 2 için 50 Hz için tepki ivmesi- frekans grafiği

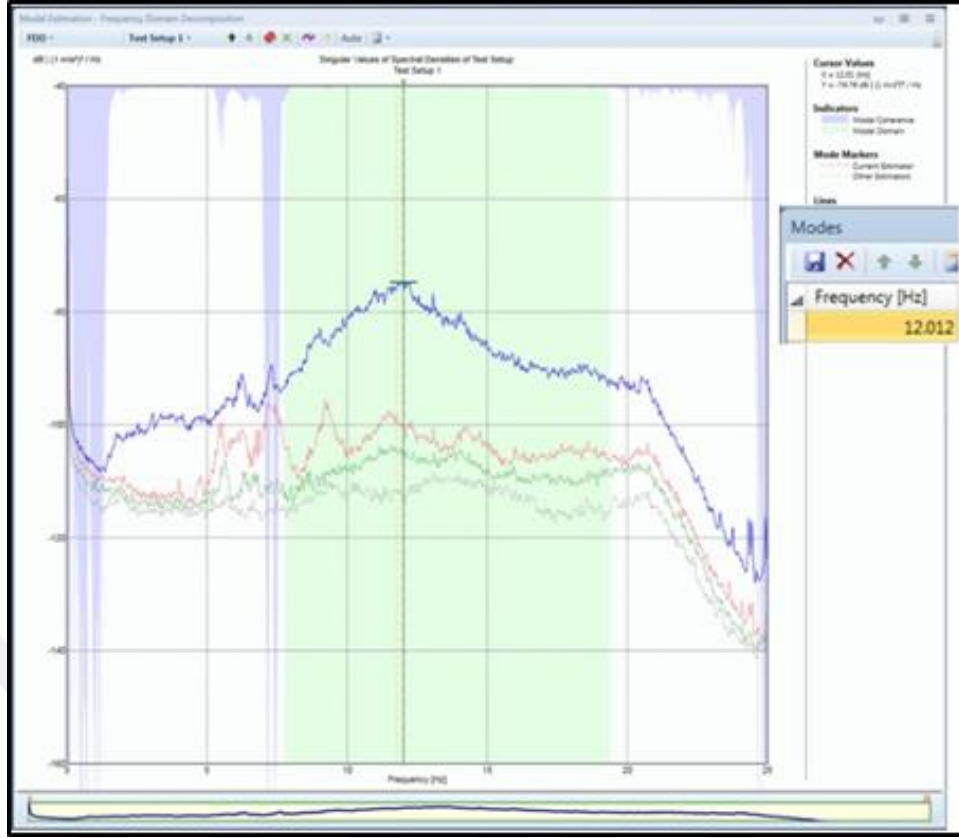
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ ÖLCÜMÜ:

İvme ölçer tarafından kaydedilen ivme kayıtların görünümü Şekil 3.52’de sunulmaktadır.

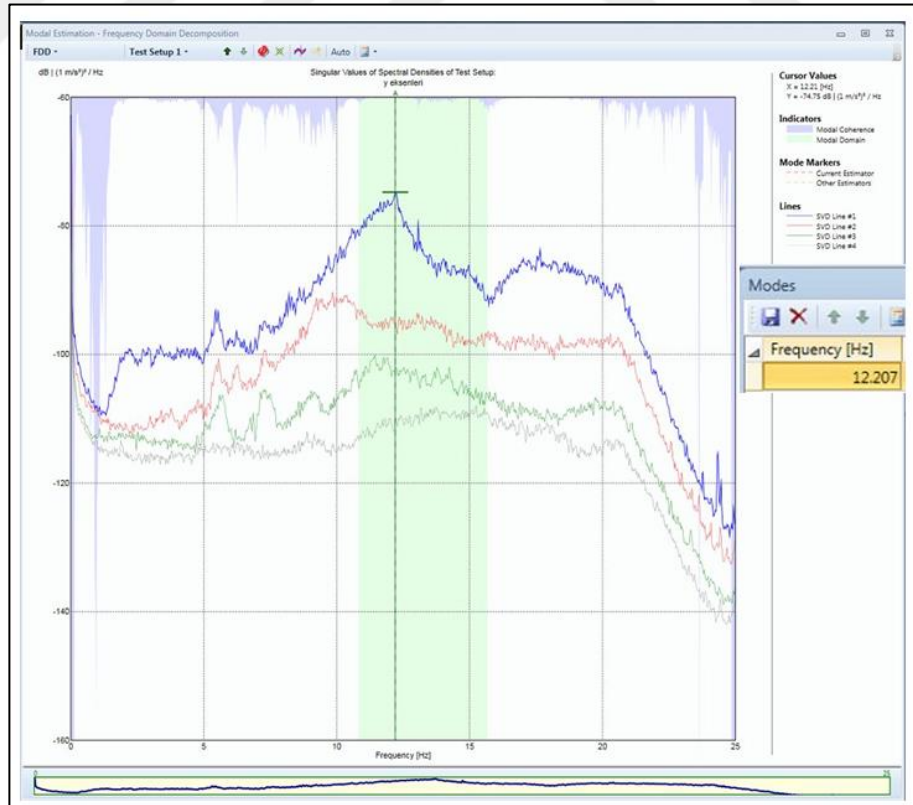


Şekil 3.52. Tüm ivmeölçerler tarafından elde edilen kayıtların görünümleri

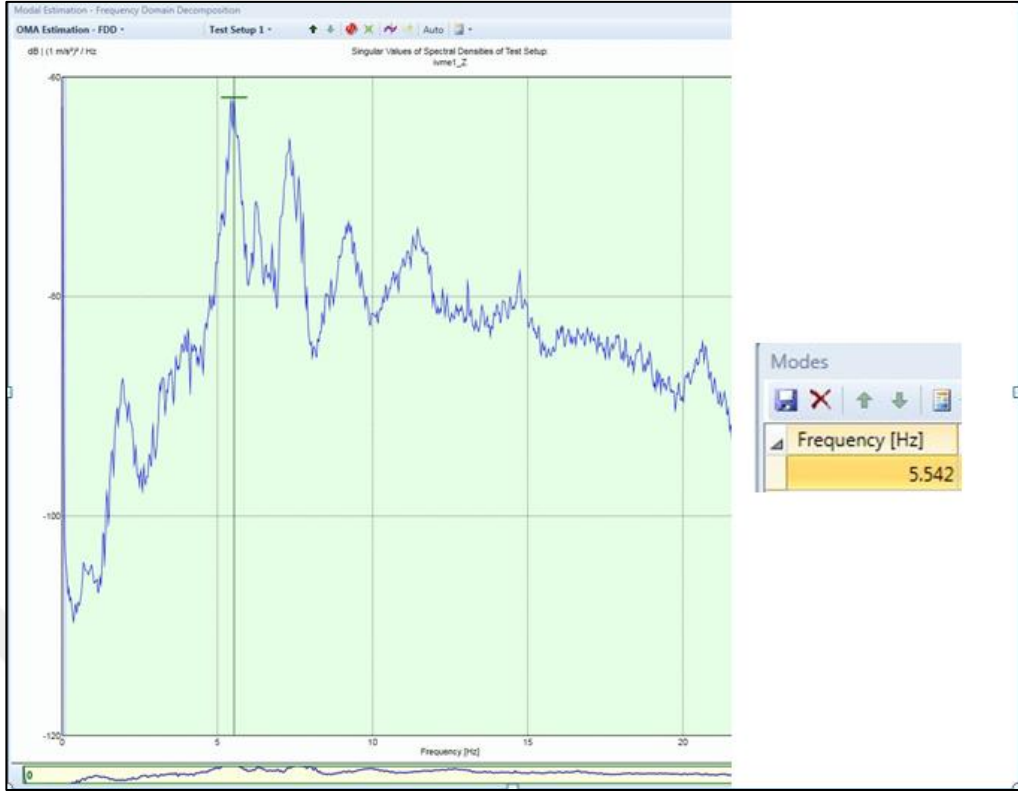
Spektral yoğunluk fonksiyonları x ve y doğrultuları için Şekil 3.53 ve Şekil 3.54 de sunulmaktadır. Döşemelerin ana titreşin doğrultusu bilindiği gibi dişey doğrultusudur. Spektral güç fonksiyonlarının dişey doğrultu için belirlenmesi 4 farklı ivme için Şekil 3.55-Şekil 3.58 de verilmektedir.



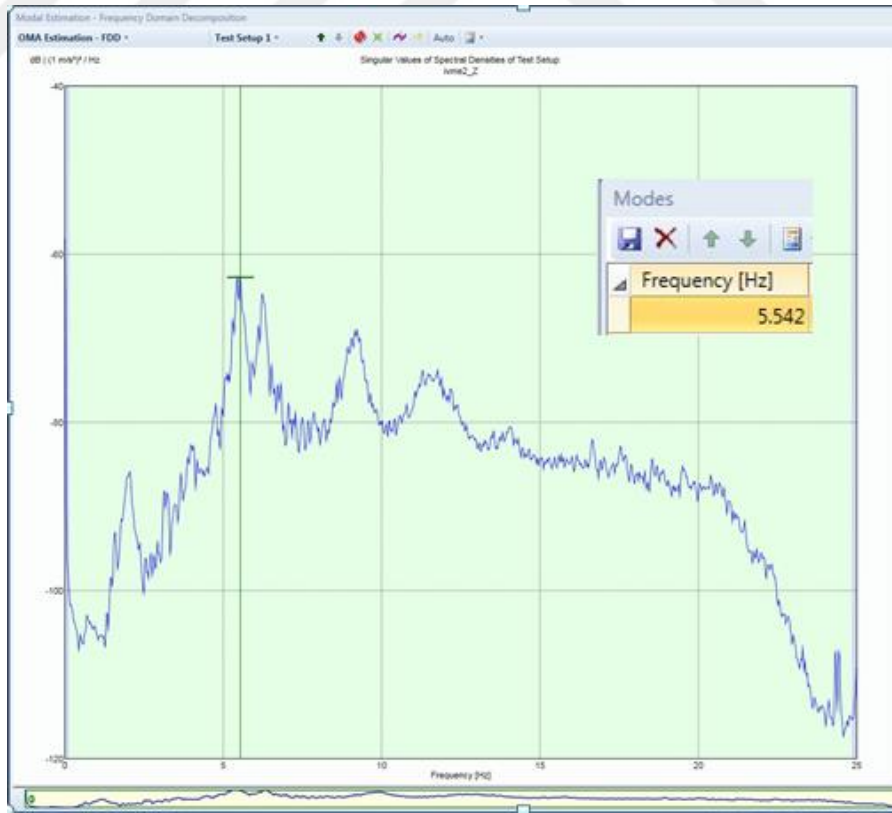
Şekil 3.53. x yönü spektral yoğunluk fonksiyonu



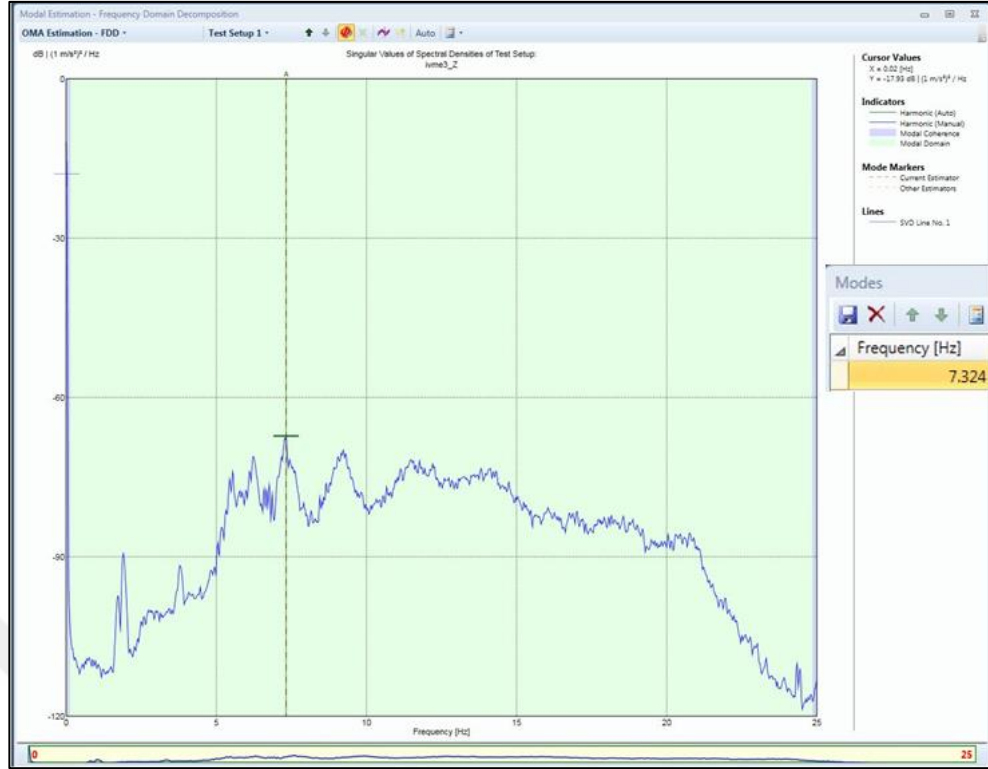
Şekil 3.54. Y yönü spektral yoğunluk fonksiyonu



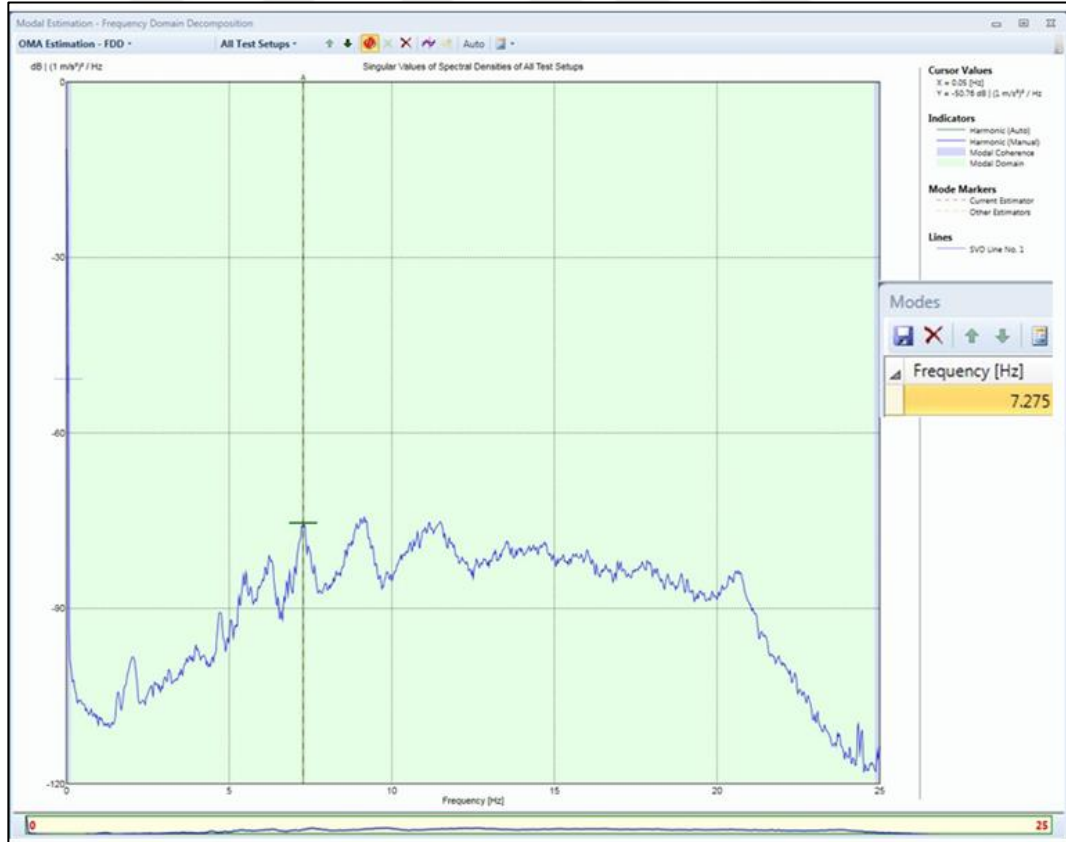
Şekil 3.55. İvme1_z yönü spektral yoğunluk fonksiyonu



Şekil 3.56. İvme2_z yönü spektral yoğunluk fonksiyonu



Şekil 3.57. İvme3_z yönü spektral yoğunluk fonksiyonu

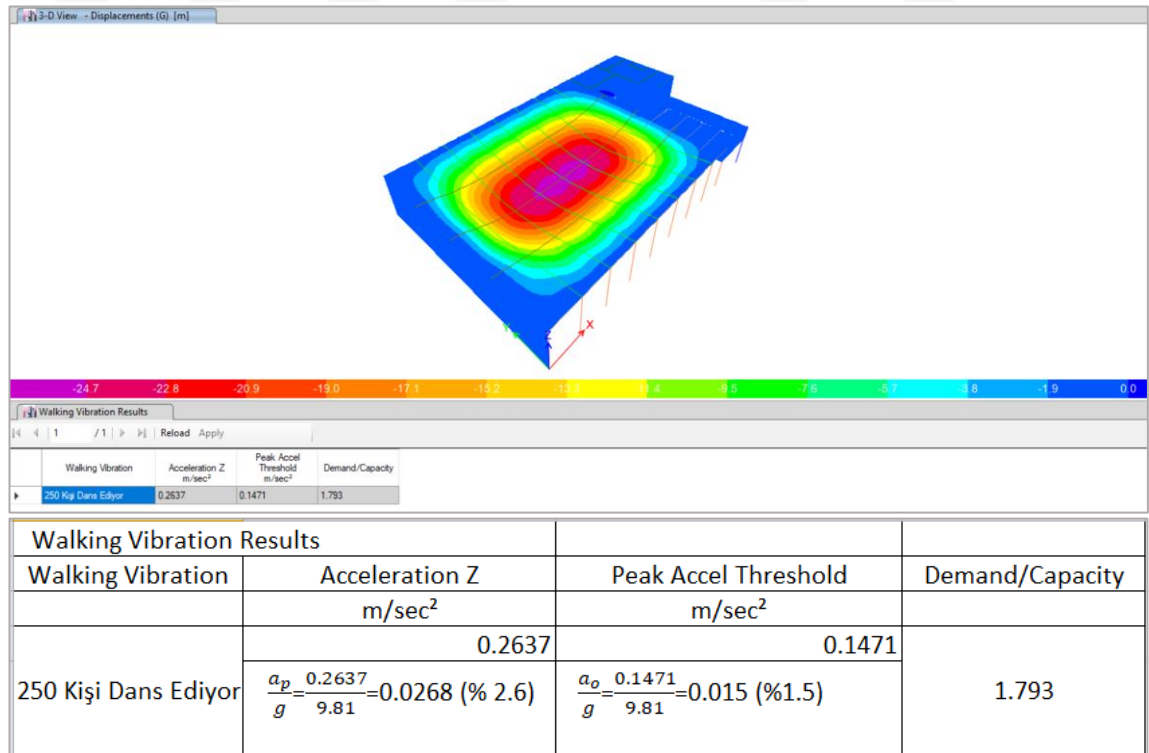


Şekil 3.58. İvme4_z yönü spektral yoğunluk fonksiyonu

3.2.3.4. Sonlu Elemanlar Modelleriyle Yapılan Hesaplar

Sonlu elemanlar çözümü ETABS programı ile yapılmıştır. ETABS programı titreşim hesabı veri girişi Şekil 3.59 da, titreşim hesapları sonuçları Şekil 3.60 da gösterilmektedir.

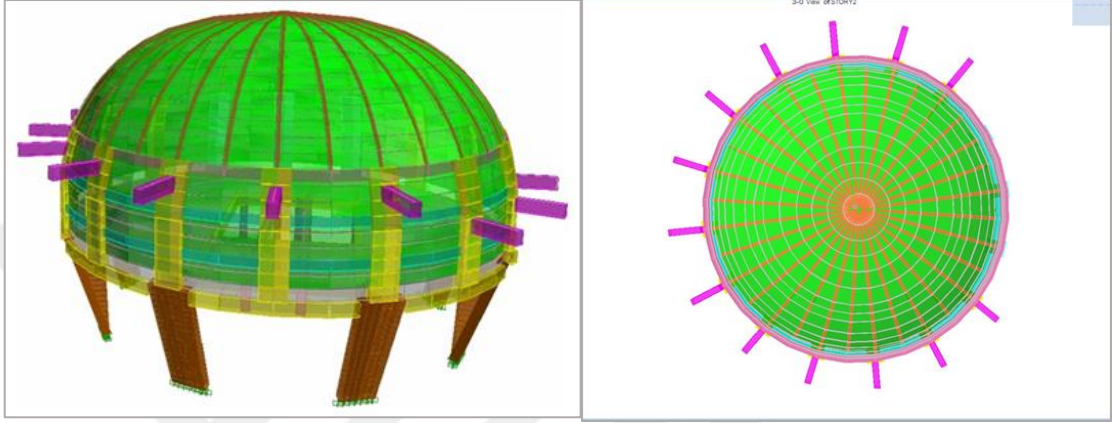
Şekil 3.59. ETABS programı titreşim hesabı veri girişi parametreleri



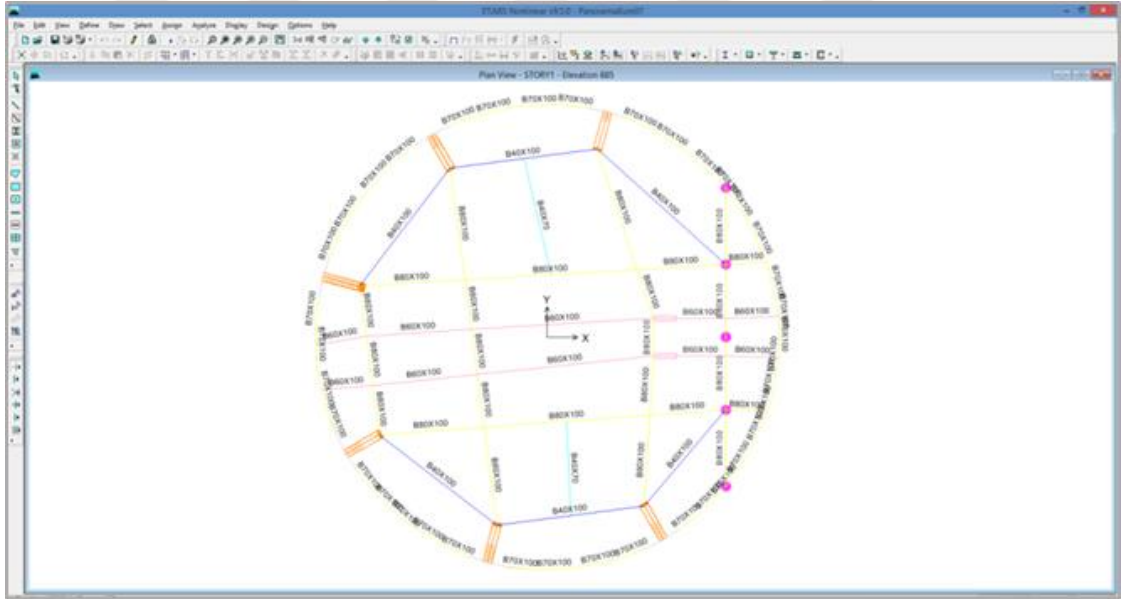
Şekil 3.60. ETABS programı titreşim hesabı sonuçları

3.2.4. Üçüncü Döşeme Sistemine İlişkin Hesaplar

Panorama1326 Bursa Fetih Müzesinin yapısal analizinde sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yapılan modellemede ETABS yapısal analiz programından yararlanılmıştır. Yapının genel olarak kubbe ile birlikte model görünümü Şekil 3.61 de, sadece döşemenin model içindeki görünümü Şekil 3.62 de sunulmaktadır.

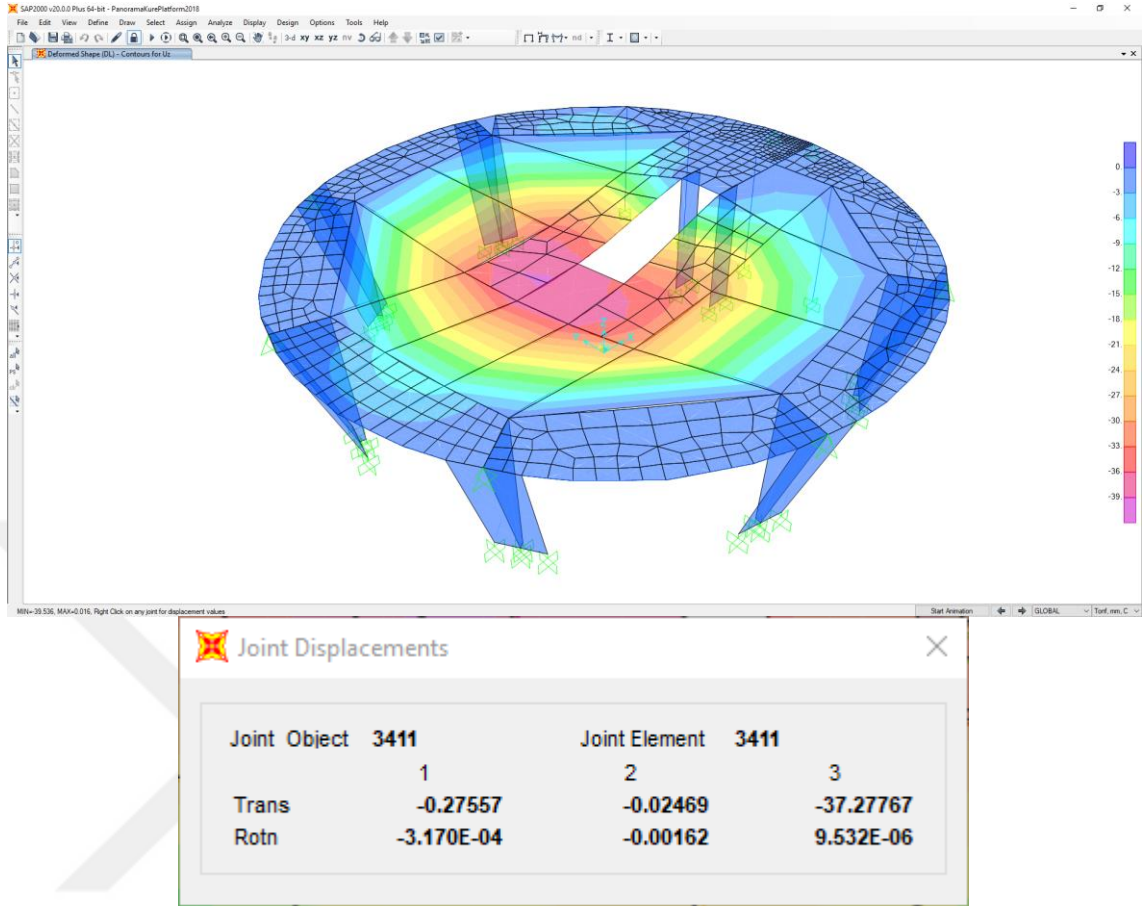


Şekil 3.61. Yapının ETABS model görünümü

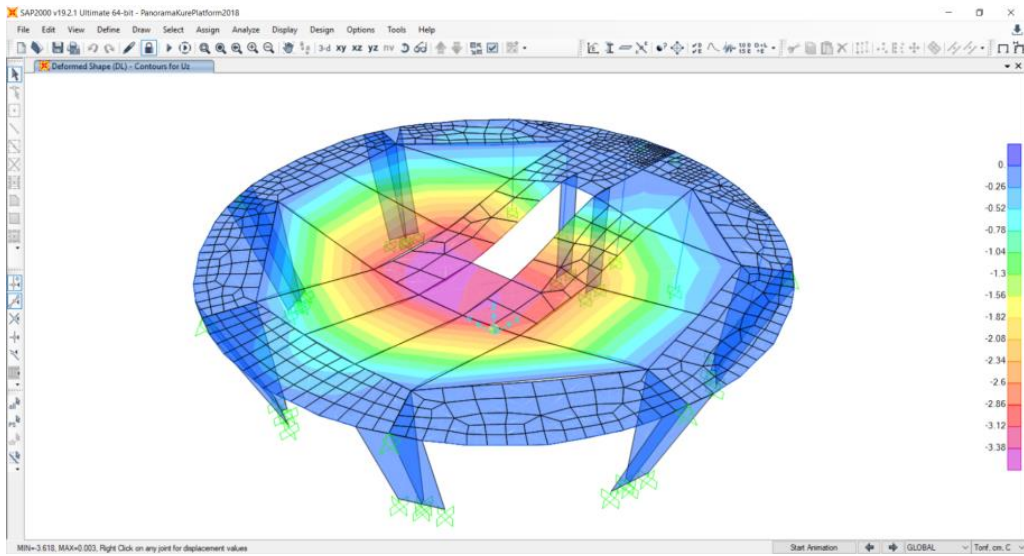


Şekil 3.62. Uygulamaya konu olan döşemenin ETABS model görünümü

Uygulamaya konu olan döşemenin düşey yükler altındaki sehim yapmış hali Şekil 3.63 ve Şekil 3.64 de verilmektedir.



Şekil 3.63. Döşeme sehim görünümü (Döşeme+Kaplama Yüğü) , Maksimum sehim= 37 mm



Şekil 3.64.Döşeme sehim görünümü (Döşeme Yüğü)

3.2.4.1.Yönetmelik Hükümleri Dikkate Alınarak Yapılan Hesaplar

Döşeme Titreşimlerinin “Design Guide for Vibrations of Reinforced Concrete Floor Systems” ve “AISC Steel Desing Guide 11” ile Değerlendirilmesi;

Aşağıdaki formül yardımı ile sistemin tahmin edilen maksimum ivmesi bulunarak, limit değerın altında kaldığı doğrulandığında titreşim problemin olmayacağı kabul edilir.

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_o \cdot \exp(-0,35f_n)}{\beta \cdot W} \leq \frac{a_o}{g} \quad (3.1)$$

a_p/g = Tahmini maksimum düşey ivme, g

f_n = Döşeme sisteminin doğal frekansı, Hz(Zati+Sabit)

a_o/g = Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen limit değer (Şekil 3.17)

P_o = Sabit Kuvvet Döşemeler için 0, 29 kN,

Yaya köprüleri için 0, 41 kN

W = Döşeme sisteminin ağırlığı, kN (Zati+Sabit Yükler)

β = Modal sönümleme oranı

Δ = Kiriş açıklığının orta noktasında oluşan sehim

Tavsiye edilen yük, sönüm oranı ve ivmelenme oranı limit değerleri Çizelge 3.4.’ten alınmaktadır.

Malzeme özellikleri;

Beton C30 kalite olarak belirlenmiştir. $E_c = 3180000 \text{ t/m}^2$

“AISC Steel Desing Guide 11” kılavuzu doğrultusunda dinamik hesap yapılırken beton malzemenin elastisite modülü 1. 2 sabit katsayısı ile çarpılarak arttırılmaktadır.

$E_{c, d=1, 2} = 2 \times E_c = 3816000 \text{ t/m}^2$

Kiriş ve döşeme kesit özellikleri:

Ana Kiriş Boyutları : Kiriş genişliği 0,60 m , kiriş yüksekliği 1 m

Kiriş genişliği 0,80 m , kiriş yüksekliği 1 m

Tali Kiriş Boyutları : Kiriş genişliği 0,40 m , kiriş yüksekliği 1 m

Kiriş genişliği 0,40 m , kiriş yüksekliği 0,70 m

Döşeme Kalınlığı : 0,15 m

Döşeme Yük Dağılımı:

Döşeme Yüğü : 0, 15m x 2, 5 t/m³ = 0, 375 t/m²

Kaplama Yüğü : 0, 2 t/m²

Kiriş Ağırlığı (60x120) :0, 6x(1-0, 15)x38, 75x2, 5 =49, 4t x2 adet = 98, 8 t

Kiriş Ağırlığı (80x100)=0, 8x(1-0, 15)x37x2, 5=62, 9 t x3 adet = 188, 7 t

Kiriş Ağırlığı (80x100)=0, 8x(1-0, 15)x25, 75x2, 5=43, 77 t x2 adet = 87, 55 t

Kiriş Ağırlığı (40x70)=0, 4x(0, 7-0, 15)x8x2, 5=4, 4 t x2 adet = 8, 8 t

Kiriş Ağırlığı (40x100)=0, 4x(1-0, 15)x11x2, 5=9, 35 t x6 adet = 56, 1 t

Toplam Kiriş Ağırlığı = 440 t

Toplam Döşeme Ağırlığı :0, 375 t/m² x 1200 m² = 450 t

Toplam Kaplama Ağırlığı : 0, 2 t/m² x 1200 m² = 240 t

Toplam Ağırlık : 1130 t

Tasarım aşaması titreşim hesabı :

ETABS programından alınan deplasman değerleri :

$\Delta = 37 \text{ mm}$

Tasarım durumu titreşim frekansı:

$$f_n = \frac{18}{\sqrt{37 \text{ mm}}} = 2,95 \text{ Hz} \quad (3.10)$$

Ölçüm Sonucu titreşim frekansı:

$$f_n = 1,9 \text{ Hz}$$

a_p/g = Tahmini maksimum düşey ivme, g

$$f_n = 1,9 \text{ Hz}$$

$$a_0/g = 0,015$$

$$P_0 = 0,41 \text{ kN}$$

$$W = 11300 \text{ kN}$$

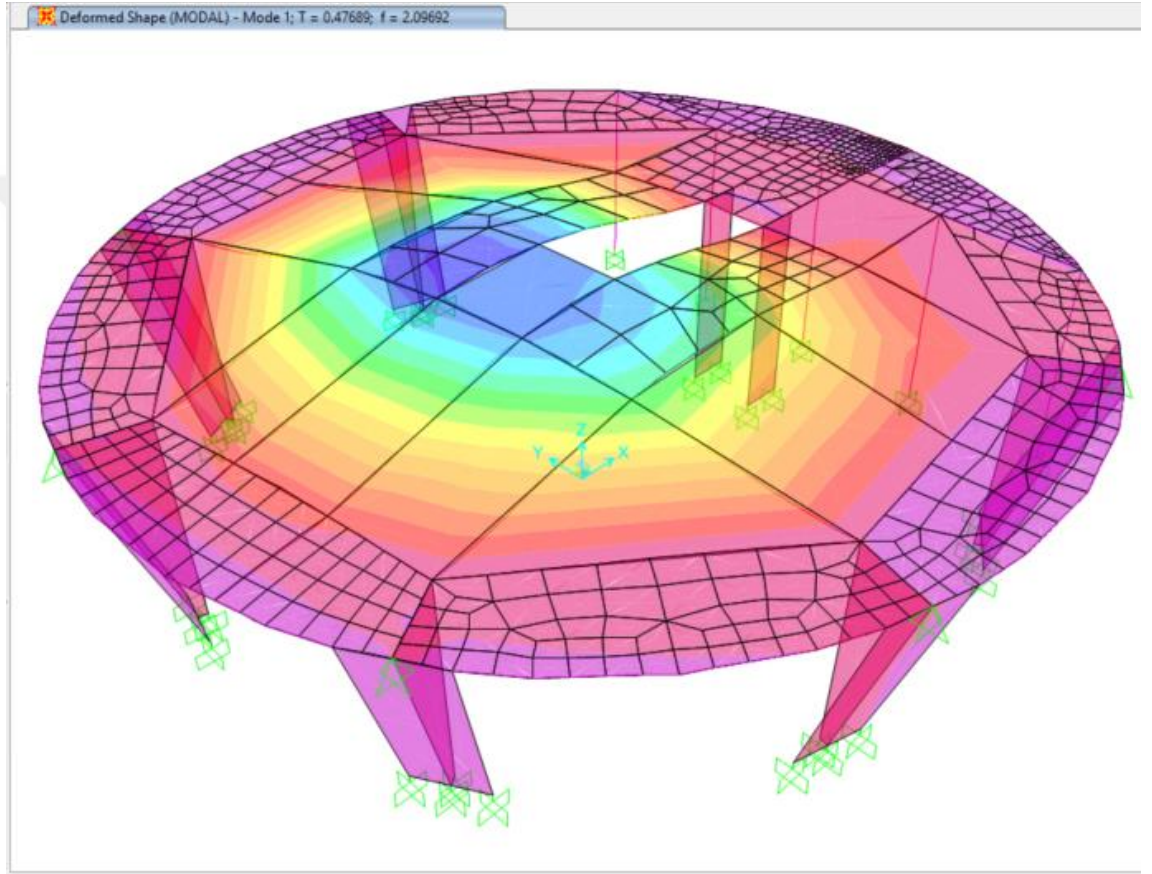
$$\beta = 0,05$$

25 kişi müze ziyaretçi platformu alanında iken ivmelenme oranı;

$$\frac{a_p}{g} = \frac{(0,41*25) \exp(-0,35*1,9)}{0,05*11300} = 0,009 (\% 0,9) < \%1,5 \quad (3.1)$$

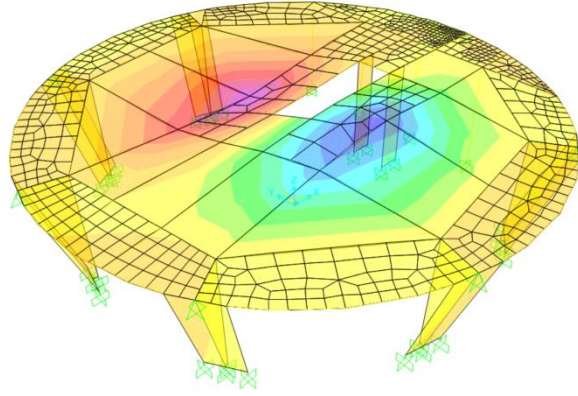
3.2.4.2. Döşeme Mod Şekilleri

Yapılan modellemelere göre gerçekleştirilen dinamik analizler sonucunda elde edilen ilk 5 mod şekli Şekil 3.65-Şekil 3.69 da sunulmaktadır. Bu şekillerde sunulan mod şekilleri irdelendiğinde oluşan modların bu tür mesnetlenme şekline sahip bir döşemede beklenen mod şekilleri olduğu söylenebilir. İlk mod şekli döşeme orta kısmının düşey yönde titreşim hareketi ile oluşmuştur.



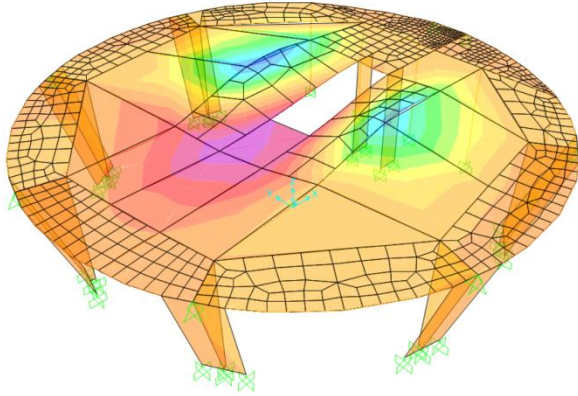
Şekil 3.65. Mod 1 $f=2,09$ Hz

Deformed Shape (MODAL) - Mode 2, T = 0.33493, f = 2.9571



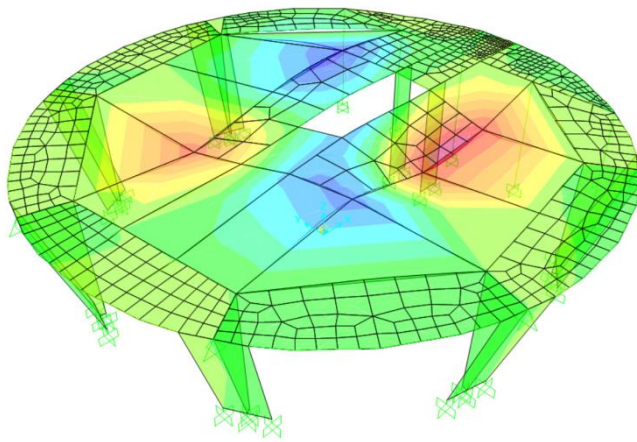
Şekil 3.66. Mod 2 $f=2,98$ Hz

Deformed Shape (MODAL) - Mode 3, T = 0.22805, f = 4.3508

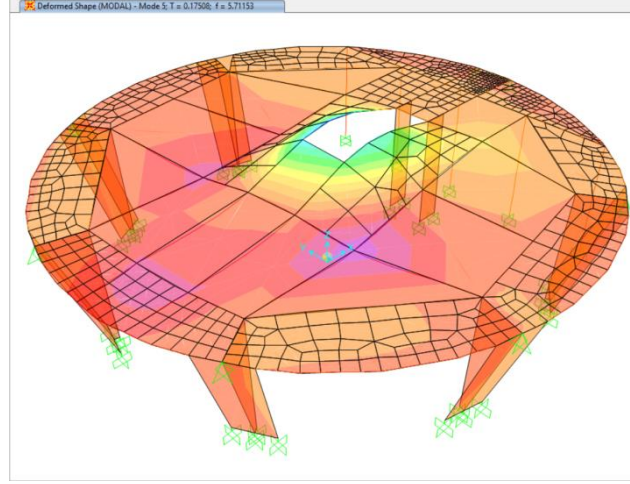


Şekil 3.67. Mod 3 $f=4,38$ Hz

Deformed Shape (MODAL) - Mode 4, T = 0.19925, f = 5.0188

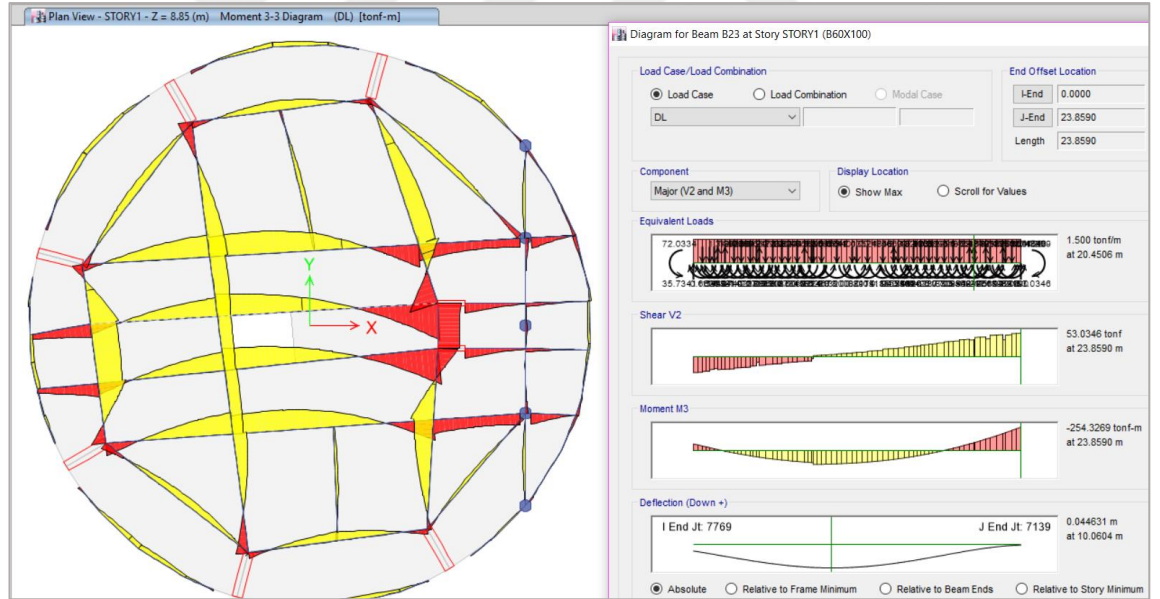


Şekil 3.68. Mod 4 $f=5,01$ Hz

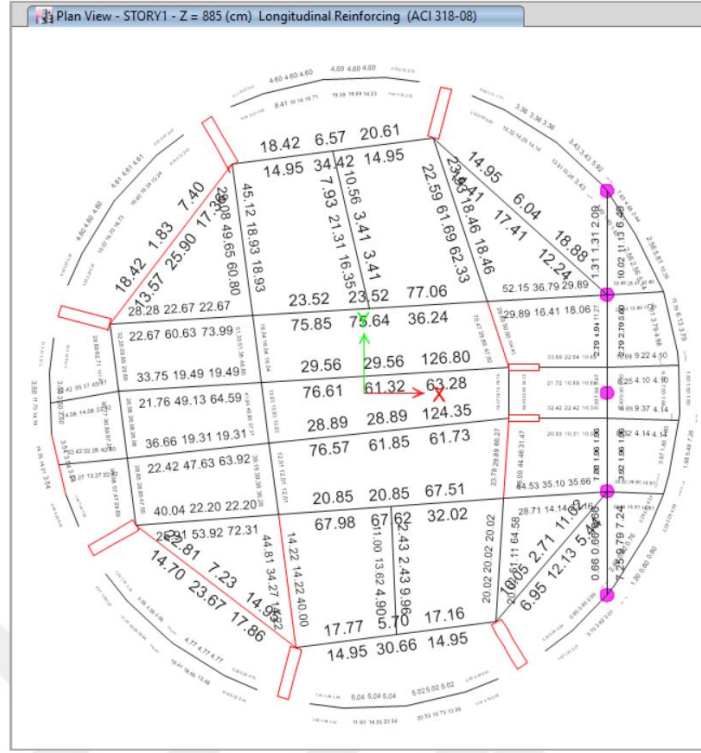


Şekil 3.69. Mod 5 $f=5,71$ Hz

Sonlu elemanlar yöntemine göre kirişli döşeme için gerçekleştirilen yapısal çözümlerden elde edilen moment diyagramı görünümü Şekil 3.70, bu moment diyagramına göre gerekli olan donatı alanları ise Şekil 3.71 de sunulmaktadır.

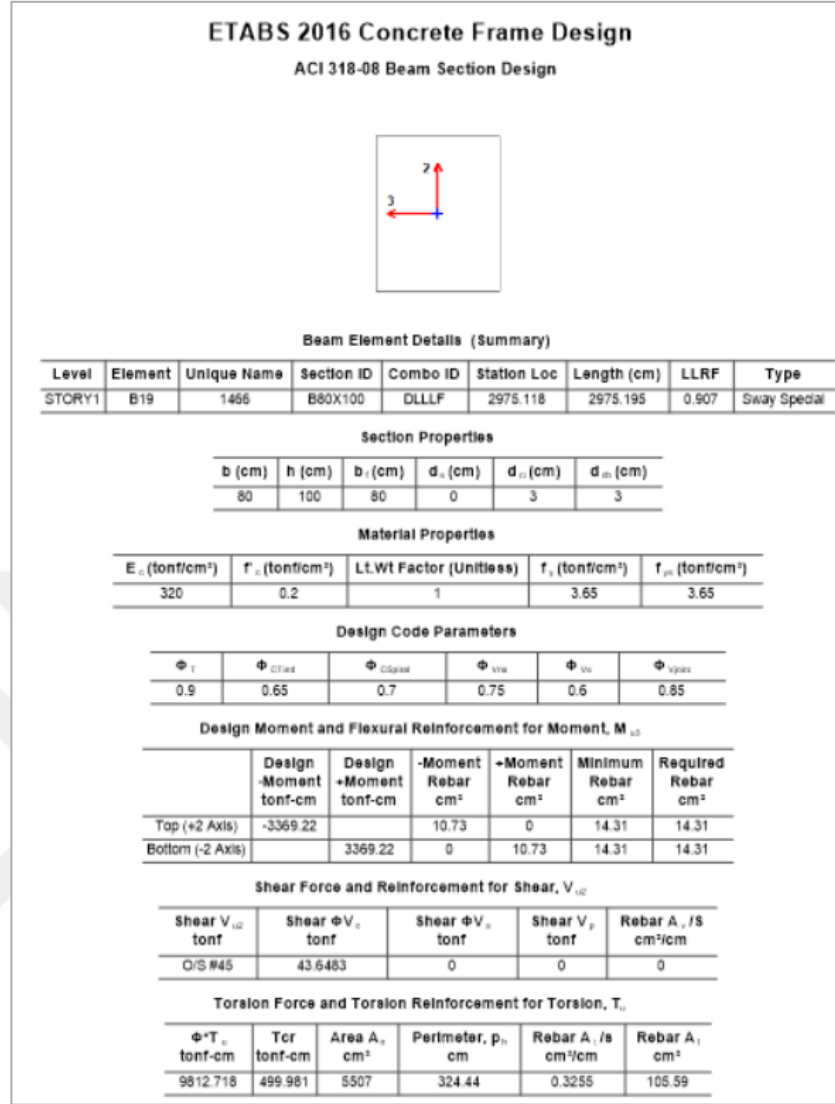


Şekil 3.70. Kirişli döşeme sisteminde elde edilen döşeme moment diyagramı



Şekil 3.71. Eğilme momenti için gerekli kiriş donatı alanları

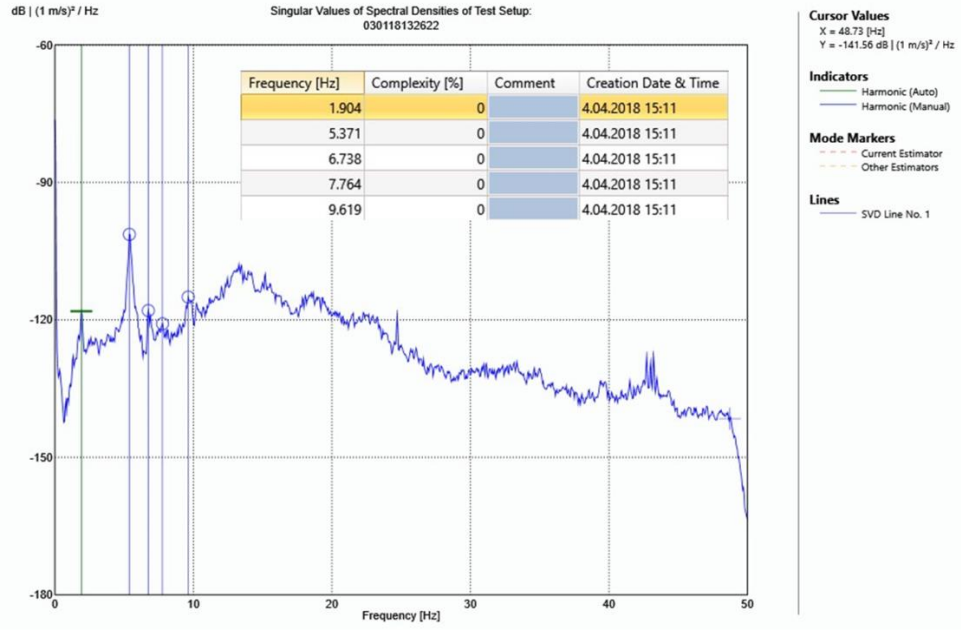
Ana kirişe ait kesit etkileri Şekil 3.72 de gösterilmiştir.



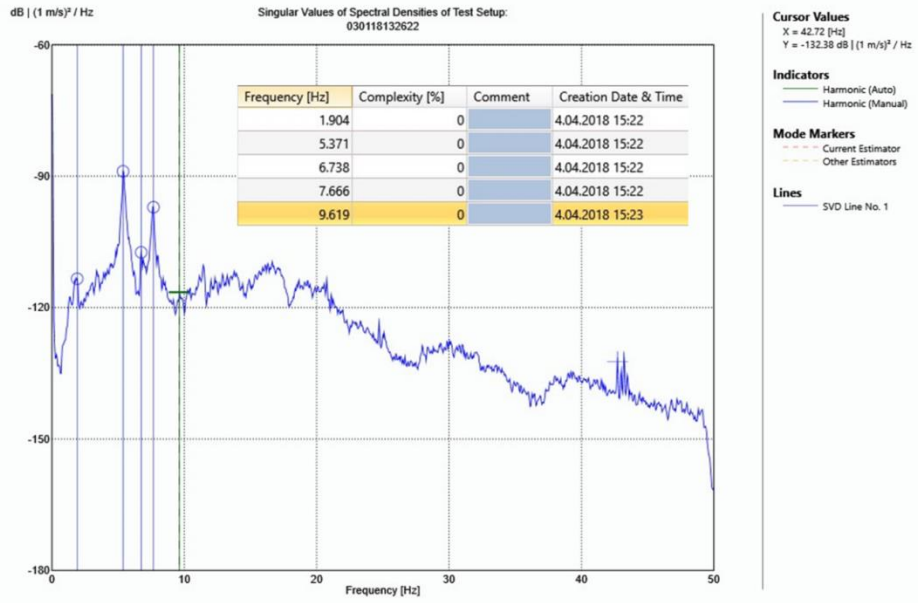
Şekil 3.72. Ana kirişe ait kesit etkileri ve tasarım sonuçları

3.2.4.3. Döşeme Sistemine İlişkin Yapılan Ölçümler

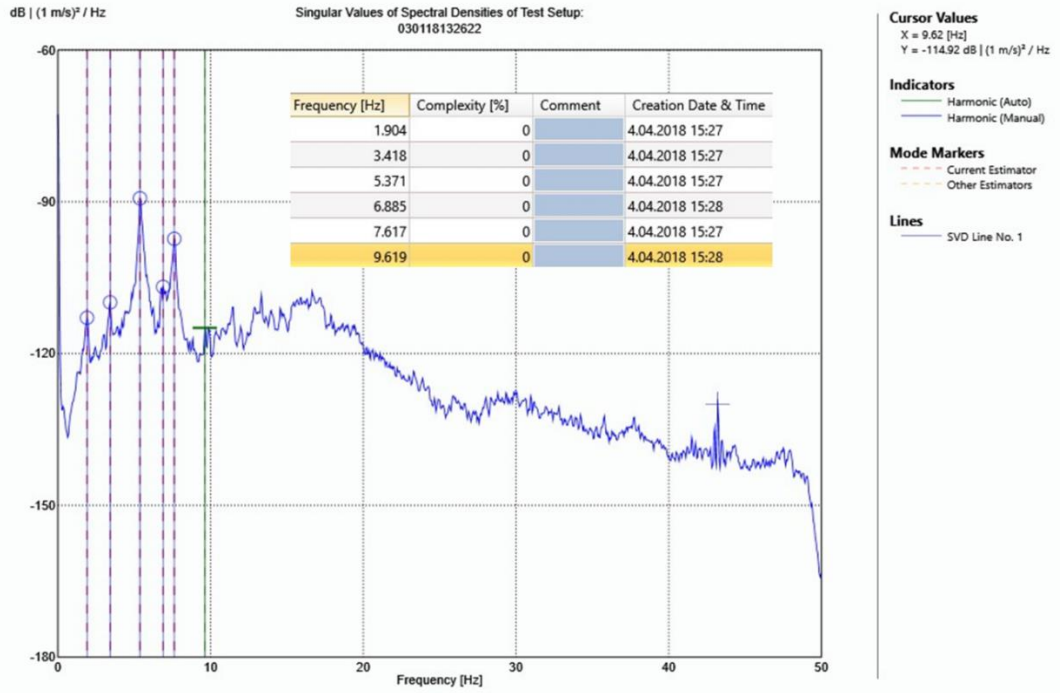
Tez kapsamında 3. uygulama olarak gerçekleştirilen uygulamaya ilişkin yerinde ölçümler Anadolu Üniversitesi ölçüm sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerden elde edilen spektral yoğunluk fonksiyonları Şekil 3.73-Şekil 3.77 de sunulmaktadır.



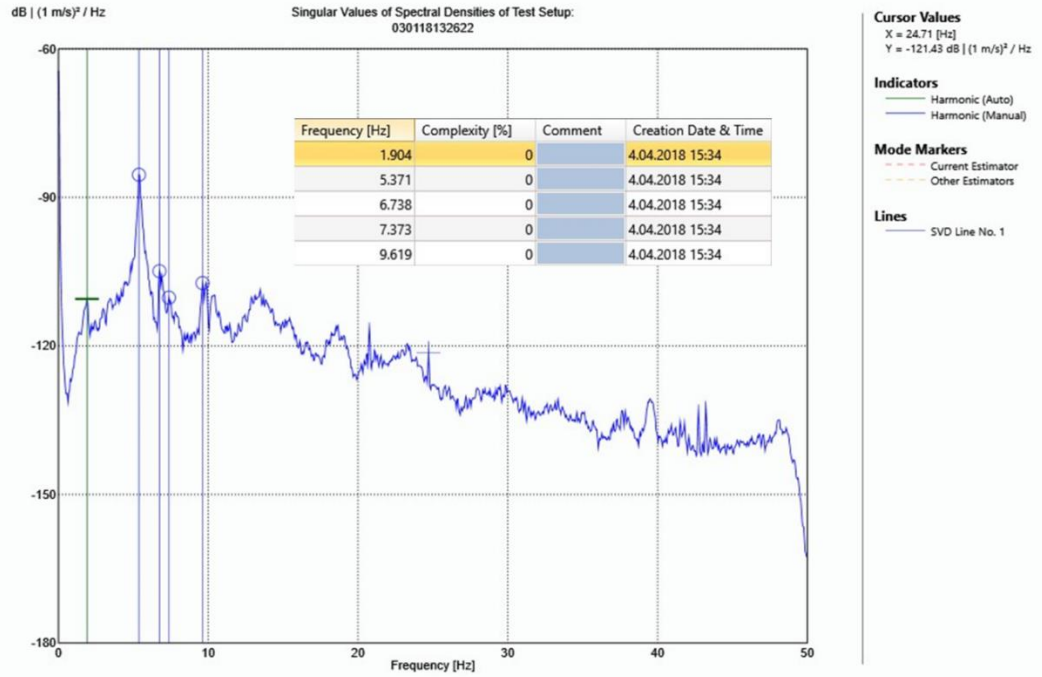
Şekil 3.73. 6J99 Spektral Yoğunluk Fonksiyonu



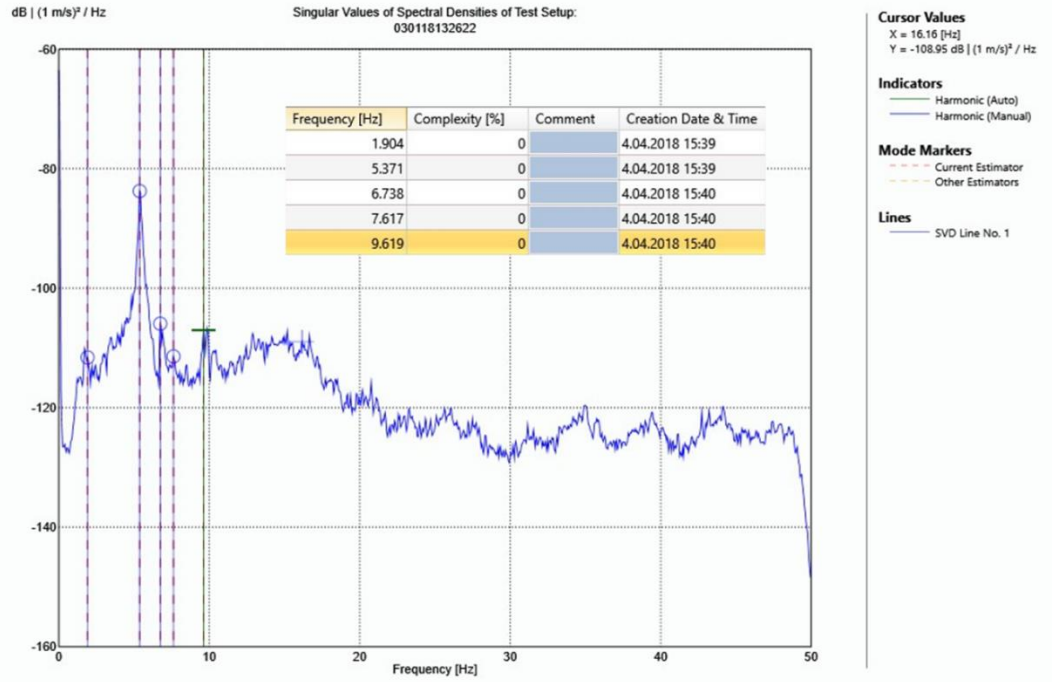
Şekil 3.74. 6K00 Spektral Yoğunluk Fonksiyonu



Şekil 3.75. 6K06 Spektral Yoğunluk Fonksiyonu



Şekil 3.76. 6K09 Spektral Yoğunluk Fonksiyonu



Şekil 3.77. 6K15 Spektral Yoğunluk Fonksiyonu

3.2.4.4.Sonlu Elemanlar Modelleriyle Yapılan Hesaplar

Sonlu elemanlar çözümü ETABS programı ile yapılmıştır. ETABS programı titreşim hesabı veri girişi Şekil 3.78 de , titreşim hesapları sonuçları Şekil 3.79 da gösterilmiştir.

Walking Vibration Data

General

Name: 25 kişi müze seyir platformunda
 Story: STORY1
 Display Color: Change
 Notes: Modify/Show Notes...

Modal Case and Modal Damping

Program Default
 Ritz Modes per Step: 2
 User Specified
 Modal Damping Ratio: 0.05

Walking Path

Point	X m	Y m
1	-5	0
2	5	0
3	-5	5
4	5	5

Add Delete

Walking Parameters

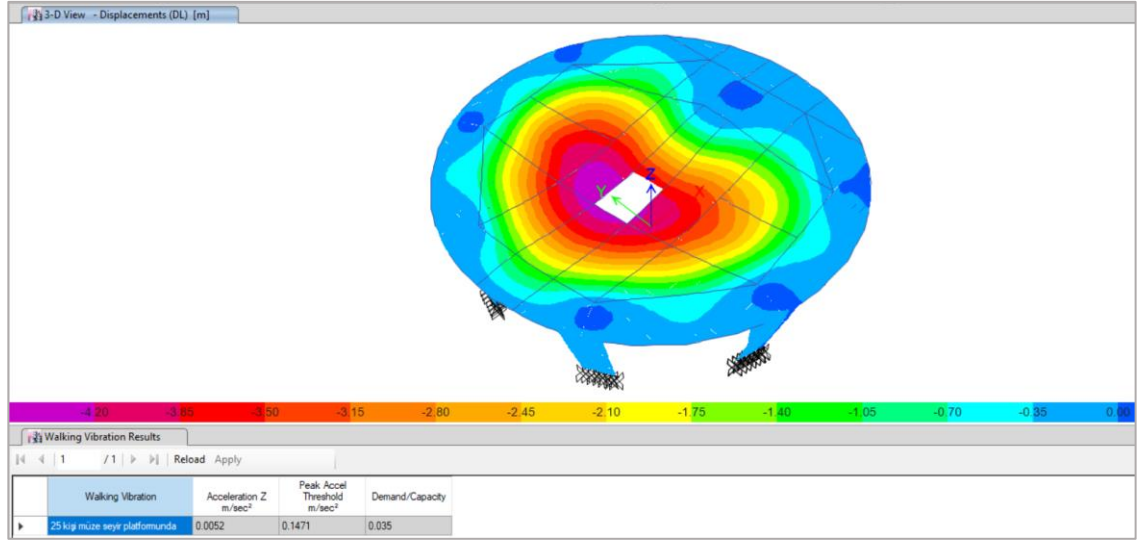
Weight of Person Walking: 0.5 tonf
 Peak Load Factor: 1.5
 Walking Frequency (Steps/sec): 2 cyc/sec
 Forward Speed: 1.5 m/sec
 Duration of Impact: 0.45 sec

Peak Acceleration Threshold (Percentage of Gravity)

Offices, Residences: 0.5 %
 Dining & Dancing, Shopping Malls: 1.5 %
 Rhythmic Activities, Footbridges: 5. %
 User Specified: %

OK Cancel

Şekil 3.78. ETABS programı titreşim hesabı veri girişi parametreleri



Walking Vibration Results			
Walking Vibration	Acceleration Z m/sec ²	Peak Accel Threshold m/sec ²	Demand/Capacity
25 kişİ müze seyir platformunda	$\frac{a_p}{g} = \frac{0.0052}{9.81} = 0.0005$ (%0.5)	$\frac{a_o}{g} = \frac{0.1471}{9.81} = 0.015$ (%1.5)	0.035

Şekil 3.79. ETABS programı titreşim hesabı sonuçları

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Örnek Olarak Seçilen 1.Döşeme Sistemine İlişkin Bulgu ve Tartışmalar

Örnek olarak seçilen birinci uygulamanın hesaplarından elde edilen bulgular aşağıdaki paragrafta irdelenmektedir:

Design Guide for Vibrations of Reinforced Concrete Floor Systems ve *AISC Desing Guide 11* (Murray ve diğ. 2003) tasarım kılavuzları doğrultusunda yapılan hesaplar sonucunda, insan hareketleri etkisinde döşeme sisteminin yapmış olduğu titreşim hareketinin ivmesinin, yerçekimi ivmesine oranı % 0,3'tür. Döşeme sistemi ofis yapısı için dikkate alındığında, Şekil 3.17'de gösterildiği gibi %0,5 ivmelenme oranı ofis yapıları için sınır değerdir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda döşeme sisteminin ofis yapılarında gerekli olan titreşim kıstaslarını sağladığı sonucuna ulaşılmaktadır. Bu bağlamda titreşimlerin etkilerinin azaltılmasına yönelik döşeme sistemi için belirlenen döşeme kesitinin artırılmasına gerek olmadığı söylenebilir. Döşeme sistemi spor salonu yapısına ait bir döşeme olduğunda ise; birinci harmonik için döşeme doğal titreşim frekansı, minimum doğal titreşim frekansının altında kalmasına rağmen ikinci ve üçüncü harmonikler için kabul edilemez titreşimlerin beklendiği görülebilir. Titreşim probleminin olmaması için üç harmonik için de döşeme doğal titreşim frekansının minimum doğal titreşim frekans değerinden büyük olması gerekmektedir. Sonuç olarak döşeme ofis binaları için titreşim açısından uygun bir sistem olmasına rağmen, spor salonu binası için titreşim kıstaslarını sağlamamaktadır.

4.2. Örnek Olarak Seçilen 2.Döşeme Sistemine İlişkin Bulgu ve Tartışmalar

İvmeölçerler ile eş zamanlı olarak alınan çevresel titreşim ölçümü verileri frekans ortamında ayrışım yöntemi ile analiz edilerek, teras döşemesinin düşey doğrultudaki titreşim periyotları Çizelge 4.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Teras döşemesinin düşey doğrultudaki titreşim periyotları

	1.Mod Periyodu	2.Mod Periyodu
(a) KB12VD (Betona monte edilmiş)	0,1814	0,1362
(b) CMG-5TCDE (Betona üzerinde)	0,1805	0,1359
(c) CMG-5TCDE (Fayans üzerinde)	0,1805	0,1383
(%) (b-a)/a	-0,5	-0,2
(%) (c-a)/a	-0,5	1,5
(%) (c-b)/a	-	1,7

Tezin ikinci uygulamasına konu olan bina için 25 ve 50 Hz kayıt için ilk dört modda elde edilen sönüm oranları Çizelge 4.2 de sunulmaktadır.

Çizelge 4.2. İkinci Uygulama Binası için belirlenen sönüm oranları

25 Hz Kayıt		50 Hz Kayıt	
MOD	Sönüm Oranları %	MOD	Sönüm Oranları %
1. Mod	6,30	1. Mod	5,60
2. Mod	4,10	2. Mod	4,00
3. Mod	4,00	3. Mod	2,50
4. Mod	6,50	4. Mod	1,40

Yukarıdaki tablodan görüldüğü gibi, 1. ve 2. Modlar için sönüm oranlarında birbirlerine yakın değerler elde edilmiştir. 3. ve 4. Modlar da ise farklar oluşmuştur. Bunun sebebi Seismosignal ve Signalcalc programlarından elde edilen grafiklerde de görüldüğü gibi 4. ve 5. modların etkili genliklere sahip olmamalarıdır.

4.3. Örnek Olarak Seçilen 3.Döşeme Sistemine İlişkin Bulgu ve Tartışmalar

Üçüncü sayısal uygulama için titreşim hesabından elde edilen bulgular aşağıdaki gibi değerlendirilebilir:

Döşeme Titreşimlerinin “Design Guide for Vibrations of Reinforced Concrete Floor Systems” ve “AISC Steel Design Guide 11” tasarım kılavuzları doğrultusunda yapılan hesaplar sonucunda, insan hareketleri etkisinde döşeme sisteminin yapmış olduğu titreşim hareketinin ivmesinin, yerçekimi ivmesine oranı 25 kişi müze ziyaretçi platformu alanında iken %0,9’dur. Döşeme sistemi müze yapısına ait bir döşeme olduğu için Şekil 3.17’de gösterildiği gibi % 1,5 ivmelenme oranı sınır değer olarak alınabilir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda döşeme sisteminin titreşim kısıtlarını sağladığı sonucuna ulaşılmaktadır.



5. SONUÇ

Bina türü yapıların tasarımlarında, konfor şartlarının sağlanmasıyla ilgili olarak döşemelerdeki titreşimler en önemli kullanılabilirlik sınır durumlarından biri olarak ortaya çıkmaktadır. Titreşim her ne kadar kullanım sınır durumu için tanımlanan bir etki olarak görülse de ilerleyen aşamalarda malzemelerde yorulmalar sonucunda ya da rezonans sonucunda bazı yapıların yıkımına da yol açtığı bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla tasarımlarda ihmal edilmesi, istenmeyen olayların gerçekleşmesine yol açabilmektedir.

Titreşim hareketinin yapılar özellikle köprüler üzerindeki etkilerini incelemek için 1800 lerin başlarından itibaren çalışmalar yapıldığı, daha sonra çelik yapılardaki titreşimler üzerine yoğunlaştığı görülmüştür. Bu bağlamda da titreşimleri dikkate alarak tasarım yapmaya yönelik olarak özellikle Amerikada tasarım kılavuzları hazırlanmıştır. Yapılan karşılaştırmalı incelemede çelik yapılardaki titreşim etkilerini içeren klavuzlarla betonarme yapılardaki titreşim etkilerini inceleyen klavuzların büyük oranda benzer oldukları görülmüştür.

Ülkemizde titreşim konusu ile ilgili herhangi bir hesap yöntemi yönetmeliklerimizde yer almamaktadır.

Çelik yapılardaki titreşimler üzerinde çalışmalar yapılmasına rağmen, betonarme yapılardaki titreşimleri incelemeye yönelik çalışmalar yok denecek kadar azdır. Ülkemizde betonarme döşemelerin titreşimlerini irdelemeye yönelik bir tez çalışmasına rastlanmamıştır. Bu tez kapsamında; ikisi uygulamadan seçilen gerçek döşeme olmak üzere, üç büyük açıklıklı dörtgen ve dairesel betonarme döşemenin titreşim etkileri incelenmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada, döşeme sistemlerinde dinamik hareketin türüne göre, kullanılabilirlik sınır durumunun sağlanıp sağlanamaması durumu değişiklik arz etmektedir. Yürüyüş için tasarım kriterlerini titreşim açısından sağlayan döşemeler, dans, ritmik etkiler gibi titreşim üreten etkiler için sağlamayabilmektedir. Bu durumla tez kapsamındaki uygulamalarda karşılaşılmıştır.

Tez kapsamında gerçekleřtirilen yapı sayısal modellerinden elde edilen deęerlerle, dōřeme űzerlerinde Uludaę űniveritesi ve Anadolu űniversitesi aletsel dűzenekleri ile alınan olűm deęerlerinin birbirine oldukça yakın olduęu gűrűlműřtűr.

Son olarak űzellikle bűyűk açıklıklı betonarme kiriřli dōřeme sistemlerinde de, elik dōřemelerdede olduęu gibi, titreřim etkileri kullanım sınır durumunu ařan boyutlara ulařabilmektedir.



KAYNAKLAR

- Abd, Ghafar, N.H. , Sahban, N.M. 2017.** “Modelling Of Concrete Topping Thickness Effects On The Vibration Behaviour For Lvl-Concrete Composite Floor (LCC)” IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 271 012096.
- AD. 256.** Design Considerations for the Vibration of Floors – Part 3 New Steel Construction, Vol 10, No. 2.
- Allen, D.E. , Murray, T.M. 1993.** Design Criterion for Vibrations Due to Walking. *AISC Journal*, 30(4), December 1993, p. 117-129.
- Allen, D. E. , Rainer, J.H. 1976.** Vibration Criteria for Long-Span Floors, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1976, 3(2): 165-173,
- AISC 360-10. 2010.** Specification for Structural Steel Buildings, *American Institute of Steel Construction*, 2010, Chicago, Illinois 60601-1802.
- Blekherman, A.N. 2005.** “Swaying of Pedestrian Bridges”, *J. Bridge Eng.*, Vol. 10, No. 2, pp. 142-150.
- BS, 6472-1. 2008.** Guide to Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings, **BSI, 2008.** ISBN 978 0 580 53027 2.
- CRSI. 2014.** Design Guide for Vibrations of Reinforced Concrete Floor Systems, 2014
- Çobanoğlu, M., Akça, Özgür ve Doğan B.** Döşeme Titreşimlerine Yönelik tasarım İlkeleri ve Karşılaştırmalı İnceleme, İMO Ankara Şubesi, Ankara/Türkiye.
- D.E. Allen, G. Pernica. 1998.** Control of Floor Vibration, *Construction Technology Update* No. 22.
- Doğangün, A. 2017.** Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, 14. Baskı.
- Ellis, B.R. , Ji, T. 1994.** Floor Vibration Induced By Dance-Type Loads: Verification, *The Structural Engineer*, 72: 3.
- Erlina, R. et al. 2016.** “Vibration Serviceability of Grha Sabha Pramana Auditorium Under Human Induced Excitation”, SCESCM 2016.

ETABS. 2016. V16.1.0- The ultimate integrated software package for the structural analysis and design of buildings. [online]. Computer & Structures Inc., Available from www.csiamerica.com.

Feldmann M, Heinemeyer, C. , M. Lukić, M. 2010. Human-induced Vibration of Steel Structures (Hivoss)- Vibration Design of Floors, Guideline, European Commission. Directorate General for Research, Official Publ. of the European Communities, ISBN:9279141465, 9789279141461, 20 sayfa.

Ji, T. , Ellis, B.R. 1994. Floor Vibration. Floor Vibration Induced by Dance-type Loads: Theory, *The Structural Engineer*, 72: 3.

Kaplan, O. 2018. Orta Yükseklikteki Betonarme Binaların Temel Periyotlarının Çevresel Titreşim Ölçümleri İle Belirlenmesi ve Periyot Bağlılığı Önerilmesi, *Doktora Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Lenzen, K.H., 1966. "Vibration of Steel Joist-Concrete Slab Floors," *Engineering Journal*, 3rd Qtr., AISC, pp. 133-136.

Li, W.W.et al. 2011. "Floor Vibration Due to Human Rhythmic Activities: Tin Shui Wai Public Library Cum Indoor Reaction Center", *The Twelfth East Asia Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*.

Murray, T.M. 1975. "Design to Prevent Floor Vibrations," *Engineering Journal*, 3rd Qtr., AISC, pp. 82-87.

Murray, T.M. 1981. "Acceptability Criterion for Occupant-Induced Floor Vibrations," *Engineering Journal*, 2nd Qtr., AISC, pp., 62-70.

Murray, T.M. 1991. "Building Floor Vibrations," *Engineering Journal*, 3rd Qtr., AISC, pp. 102-109.

Murray, T.M. 2001. "Tips For Avoiding Office Building Floor Vibration", *Modern Steel Construction*.

Murray, T.M., Allen, D.E , Ungar, E.E. 2003. AISC Steel Design Guide Series 11, Floor Vibrations due to Human Activity, 2nd edition, American Institute of Steel Construction, Inc.

- Naeim, F. 1991.** Design Practice to Prevent Floor Vibrations, Structural Steel Educational Council, Technical Information and Product Service., California, USA.
- Prakash, Kumar, Anil, Kumar. 2014.** “Human Induced Vibration in structures”, *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics*, Vol. 1, No. 1.
- Probina, Orion. 2013.** Bina tasarım sistemleri, PROTA, Ankara.
- Racic, V. , Pavic, A. 2009.** “Mathematical Model to Generate Asymmetric Pulses Due to Human Jumping”, *J. Eng. Mech.*, Vol. 135, pp. 1206-1211.
- Sachse, R., Pavic, A. , Reynolds, P. 2003.** “Human-Structure Dynamic Interaction in Civil Engineering Dynamics: A Literature Review”, *Shock Vib. Dig.*, Vol. 35, pp. 3-18.
- Saidi, I., Haritos, N., Gad, E. , Wilson, J.L. 2006.** “Floor Vibrations Due To Human Excitation- Damping Perspective”, *Earthquake Engineering in Australia*, Canberra 24-26 November 2006.
- SAP. 2000.** V16.1.0 - The Ultimate Integrated Software Package For The Structural Analysis And Design Of Buildings. [online]. Computer & Structures Inc., Available from www.csiamerica.com.
- https://www.aisc.org/globalassets/modern-steel/archives/2001/03/2001v03_tips.pdf
- Stevenson, R. 1821.** “Description of Bridges of Suspension”, *Edinburgh Philosophical Journal*, Vol. 5, No. 10, pp. 237-256.
- Sun, L. , Yuan, X. 2008.** “Study on Pedestrian-Induced Vibration of Footbridge”, in Proceedings of Footbridge 2008, *3rd International Conference*, Porto.
- Tilden, C. J. 1913.** Kinetic Effects of Crowds. New York.
- Tredgold, T. 1824.** Elementary Principles of Carpentry, 2nd Ed., Publisher unknown, London.
- Valerie, K. Smith , Murray S. Korman. 2012.** “Floor vibration response to Irish dancing”, *The Journal of the Acoustical Society of America* 132, 1987 (2012).
- Yıldız, H. 2014.** Çelik Döşeme Sistemlerinde İnsan Hareketleri Etkisi Ile Oluşan Titreşim Sorunlarının İncelenmesi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.(Yüksek Lisans Tezi)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : DENİZ UYAN
Doğum Yeri ve Tarihi : ARTVİN, 1979

Eğitim Durumu:
Lise : ARTVİN KAZIM KARABEKİR LİSESİ
Lisans : DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ

Çalıştığı Kurum/Kurumlar :

SALİH ZEKİ ÜN MÜHENDİSLİK (BURSA)

İletişim (e-posta) : projedenizuyan@gmail.com.