

BİR ENDÜSTRİ YAPISINDA DÖNEL MAKİNELERİN TİTREŞİMİ VE YAPIDAKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ali Mahdavi¹, Suat Yıldırım¹, E.Okay Mutlu¹, B.Özden Çağlayan², Yüksel İ. Tonguç¹

¹ İnşaat Yük. Müh. ,PROMER Müh. Müh. AŞ.

² Doçent Dr., İnşaat Müh. bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi
Email: syildirim@promerengineering.com.tr

ÖZET:

Endüstriyel yapılar, kullanım şekli ve içinde bulunan mekanik sistemler (makinalar) nedeniyle az ya da çok titreşime maruz kalır. Bu titreşimler, insanların çalışma kalitelerinin düşmesine hatta yapıda hasar oluşmasına neden olabilir. Dolayısıyla titreşim, İnşaat Mühendisliğinin önemli konularından birini teşkil eder.

Pompa, türbin, kompresör, dönel silindir gibi hareketli ekipmanlar titreşim oluşturan başlıca kaynakların arasında yer almaktadır. Bahsi geçen makineler işletme ömrü boyunca sorunsuz çalışması beklenen ekipmanlardır. Bu nedenle işletme açısından sürekli çalışabiliyor olması üretim açısından çok önemlidir.

Öte yandan bu tip makineler ilgili yapıya oranla oldukça maliyetli yüksek elemanlardır. Bu nedenle makinenin sağlıklı çalışması ve cihazı dolayısıyla üretimi kesintiye uğratmayacak yapı sistemleri, ekonomik parametrelerin önüne geçer.

Titreşimli yapıların tasarımında veya değerlendirilmesinde sabit yükler kadar işletme sırasında ortaya çıkan dinamik tesirler de önemlidir. Boyutlandırma veya değerlendirme sürecinde, tekrarlı titreşimli yükler altında yapının yorulma ömrü de kontrol edilmesi gereken önemli bir konu olarak karşımıza çıkar.

Bu çalışma kapsamında, Tekirdağ'da yer alan mevcut bir karton fabrikasında, büyük dönel silindirler ve titreşim kaynaklarından meydana gelen titreşimler, tesiste belirli yerlere yerleştirilmiş hassas ivme ölçerler kullanılarak kaydedilmiştir. Ölçülen ivme kayıtları MATLAB programı kullanarak hız ve deplasmana dönüştürülmüştür. Aynı esnada, matematiksel analiz çalışmalarında, etkili olan ACI-351-3R yönetmeliğine göre hesaplanmış titreşim frekansları, ETABS programı ile de modellenerek, bilgisayar ortamında elde edilen analiz sonuçları ve gerçek ölçülerden elde edilen veriler karşılaştırılmış, ACI-351.3R ve ISO 10816 standartlarında belirtilen hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı incelenmiş, bunun yanında fabrika binasında çalışan veya bulunan kişilerin konforuna etkisi de değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Endüstriyel yapı, İvme ölçer, Titreşim

1.GİRİŞ:

Endüstriyel sistemler, mekanizmalar, yapılar, makina ve teçhizatları birer titreşim kaynağıdır. Titreşimler cihazlarda ve yapılarda statik hesaplarda görülmeyen fiziksel hasar oluşturabilir, aynı zamanda kullanıcıların çalışma konforunu ve verimini etkileyebilir. Bu tip yapıların, maruz kaldığı dinamik etkiler nedeni ile alışıl gelmiş statik tasarım şartlarına ek olarak dinamik yükler altındaki davranışları da incelenir ve analiz sonuçları işletme, konfor ve çevresel şartlar dikkate alınarak tasarıma aktarılır. Bahsi geçen makineler işletme ömrü boyunca sorunsuz çalışması beklenen ekipmanlardır. Bu nedenle yapı sistemi, rezonansa girmemeli, titreşim genlikleri (deplasmanlar) genelde makine imalatçısı tarafından verilen sınır değerleri aşmamalı, titreşimlerin çalışanlara olumsuz etkisi olmadığı gibi çevre ekipman ve makineleri de olumsuz etkilememelidir.

Bu çalışmada, endüstriyel projelerde en sık karşılaşılan dönel makinelere ait etkiler ele alınmıştır. Tekirdağ'da yer alan mevcut bir karton fabrikasında, büyük dönel silindirler ve titreşim kaynaklarından meydana gelen titreşimler, tesiste belirli yerlere yerleştirilmiş hassas ivme ölçerler kullanılarak kaydedilmiştir. Ölçülen ivme kayıtları B.Özden ÇAĞLAYAN tarafından hazırlanmış bir MATLAB programı kullanarak hız ve deplasmana dönüştürülmüştür. Bilgisayar ortamında, ACI-351-3R yönetmeliğine göre hesaplanmış titreşim frekansları sinüzoidal yüklemeye çevrilmiş, ETABS programı ile zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak titreşim kaynaklı deplasmanlar hesaplanmıştır. Zaman tanım alanı analiz sonuçları ve gerçek saha kayıtlarından elde edilen veriler karşılaştırılmış, ACI-351.3R ve ISO 10816 standartlarında belirtilen hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı incelenmiştir. Bunun yanında fabrika binası kullanıcılarının konforuna etkisi de değerlendirilmiştir.

1.1. Fabrika Yapısı:

Çalışmaya konu olan yapı bir Karton fabrikasına ait ve dönel ekipmanların bulunduğu E blok, 19.60m x 42.5m boyutlarında, 16 m yüksekliğinde 7 açıklıklı taşıyıcı sistemi +5.00 kotuna kadar betonarme kaide, üzeri çelik olan bir yapıdır. Betonarme kat üzerinde bir kısmı E blok üzerinde olmak üzere yaklaşık 90 m uzunluğunda karton makinesi bulunmaktadır. Yapı genel cephe görünüşleri aşağıda verilmiştir (Fotoğraf 1).



Fotoğraf 1. Yapı cephe görünüşleri

2. KARTON MAKİNESİ DİNAMİK HESAPLARI:

D-E blokları arasında, EL+5.000 kotunda betonarme kat üzerinde ~ 90 m uzunluğunda karton makinesi bulunmaktadır. Makinenin yandan görünüşü şekil 1'de gösterilmiştir. Karton makinesi ekipmanları ana bölümleri üretim sırasına göre aşağıda verilmiştir:

8 adet Yuvarlak elek (E Blok, 35 ~ 40 Aksları)

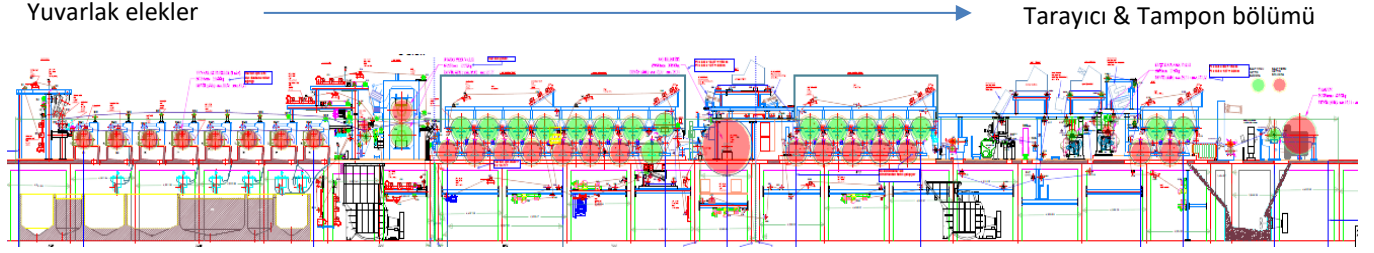
1. Pres Grubu (E Blok, 35 ~ 40 Aksları)

2. Pres Grubu (E Blok, 35 ~ 40 Aksları)

3. Pres Grubu (E Blok, 35 ~ 40 Aksları)

1. Grup Kurutma Bölümü (D Blok, 30B ~ 34 Aksları)

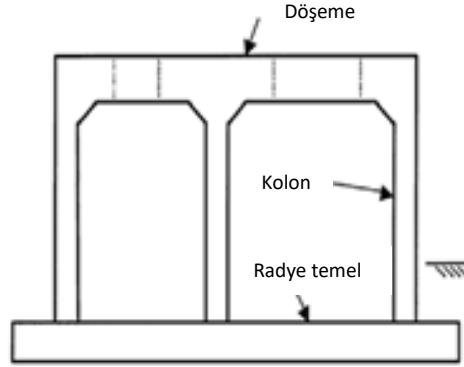
2. Grup Kurutma Bölümü (D Blok, 30B ~ 34 Aksları)
MG Silindiri Bölümü & 1. Havalı Kurutucu Bölümü (D Blok, 30B ~ 34 Aksları)
3. Grup Kurutma Bölümü (D Blok, 28 ~ 30A Aksları)
1&2. Havalı Kurutucu Bölümü (D Blok, 25A ~ 28 Aksları)
4. Grup Kurutma Bölümü (D Blok, 25 ~ 25A Aksları)
Tarayıcı ve Tampon bölümü (D Blok, 23A ~ 25 Aksları)



Şekil 1. Karton makinesi yandan görünüşü

Karton Makinesinin üretim hızının, üretilen kartonun tipine göre max 320 m/dk ve min 150 m/dk olduğu ve bu hızlar arasında değişkenlik gösterebileceği belirtilmiştir.

Karton makinesi, çalışma prensibine göre “Dönel Makine” türündedir ve çerçeve tipi bir yapısal sistem üzerinde işlem görmektedir.



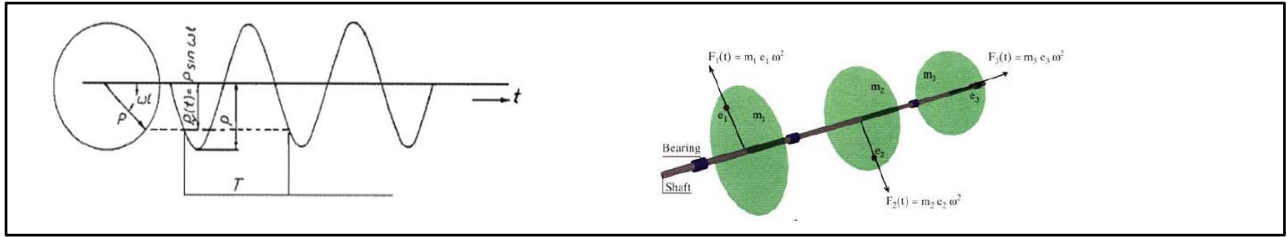
Şekil 2. Çerçeve tipi ekipman temeli

2.1. GENEL PRENSİPLER:

Makine kaideleri, statik yükler ile birlikte dinamik yüklerin etkisi altında kalmaktadır. Dinamik yükler, makinenin hareketli parçalarındaki dengelenmemiş kütleler nedeni ile ortaya çıkmaktadır.

Makine dinamik hesabında, yapıya periyodik olarak etkileyen dengelenmemiş yükler (zorlayıcı kuvvet) altında taşıyıcı sisteminde oluşacak titreşimler analiz edilecektir.

Periyodik hareket formu, harmonik kuvvet şeklindedir. Bu şekilde santrifüj etki ile oluşan dengelenmemiş kuvvetlerin yatay ve düşey bileşenleri dikkate alınacaktır (şekil 3).



Şekil 3. Dengelenmemiş yüklerin şematik gösterimi

Dinamik hesap neticesinde sistemin maruz kaldığı farklı modlar altındaki titreşimlere ait genliklerin (deplasman) sınır değerleri aşıp aşmadığı kontrol edilecektir. Dinamik ekipmanlarda Rezonans oluşmamasıdır. Bu bağlamda yapısal sistem doğal frekansı ile makine işletme frekanslarının örtüşmesi önlenmelidir. IS 2974 standardına göre yapıda radye temel bulunması durumunda, kolon alt noktalarının “fixed support” olarak alınabileceğini belirtilmiştir. Karton makinesinin hareket yönü dikkate alındığında, bu istikamette ekipman boyunca radye temel mevcuttur. Çerçeve sistemin esnek yapısı da dikkate alındığında, analiz modeli yapılırken kolon altları “fixed support” olarak dikkate alınacaktır.

2.2. Dengelenmemiş Yüklerin (Unbalanced Forces) Hesabı:

Genel olarak, “dengelenmemiş yükler” makine imalatçısı tarafından verilmektedir. Ancak çalışma konusu yapıda bu veriler mevcut değildir. Bu gibi durumlarda “ACI 351.3R-04” dengelenmemiş yüklerin nasıl hesaplanacağına dair tanımlamalar yapmıştır.

3.4.4.10 Machine unbalance provided by the manufacturer—When the mass unbalance (eccentricity) is known or stated by the manufacturer, the resulting dynamic force amplitude is

$$F_o = m_r e_m \omega_o^2 S_f / 12 \text{ lbf} \quad (3-3)$$

$$F_o = m_r e_m \omega_o^2 S_f / 1000 \text{ N}$$

where

F_o = dynamic force amplitude (zero-to-peak), lbf (N);
 m_r = rotating mass, lbm (kg);
 e_m = mass eccentricity, in. (mm);
 ω_o = circular operating frequency of the machine (rad/s);
and
 S_f = service factor, used to account for increased unbalance during the service life of the machine, generally greater than or equal to 2

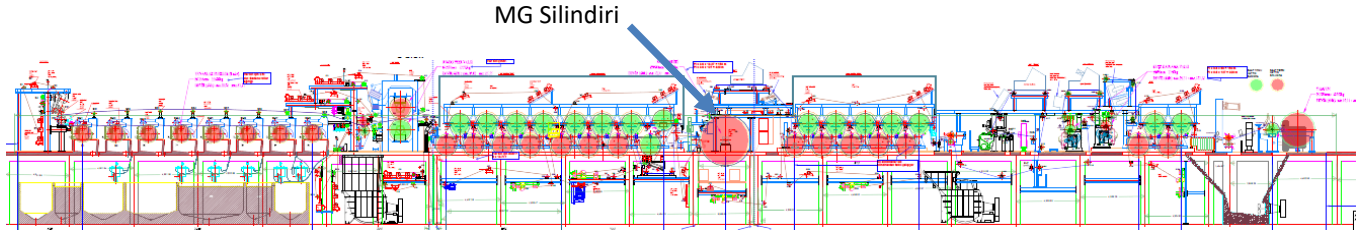
Table 3.1—Balance quality grades for selected groups of representative rigid rotors (excerpted from ANSI/ASA S2.19)

Balance quality grade	Product of e_o , in./s (mm/s)	Rotor types—general examples
G1600	63 (1600)	Crankshaft/drives of rigidly mounted, large, two-cycle engines
G630	2.5 (630)	Crankshaft/drives of rigidly mounted, large, four-cycle engines
G250	10 (250)	Crankshaft/drives of rigidly mounted, fast, four-cylinder diesel engines
G100	4 (100)	Crankshaft/drives of fast diesel engines with six or more cylinders
G40	1.6 (40)	Crankshaft/drives of elastically mounted, fast four-cycle engines (gasoline or diesel) with six or more cylinders
G16	0.6 (16)	Parts of crushing machines; drive shafts (propeller shafts, cardan shafts) with special requirements; crankshaft/drives of engines with six or more cylinders under special requirements
G6.3	0.25 (6.3)	Parts of process plant machines; centrifuge drums, paper machinery rolls, print rolls; fans; flywheels; pump impellers; machine tool and general machinery parts; medium and large electric armatures (of electric motors having at least 80 mm shaft height) without special requirement
G2.5	0.1 (2.5)	Gas and steam turbines, including marine main turbines; rigid turbo-generator rotors; turbo-compressors; machine tool drives; medium and large electric armatures with special requirements; turbine driven pumps
G1	0.04 (1)	Grinding machine drives
G0.4	0.015 (0.4)	Spindles, discs, and armatures of precision grinders

Şekil 4. Dengelenmemiş yüklerin hesabı (ACI 351.3R-04)

Şekil 5. Balans Kalite Sınıfları (ACI 351.3R-04)

Yapılan saha ziyareti sırasında, makine çalışırken tabliyede oluşan titreşimlerin insanlar için rahatsız edici olmadığı gözlenmiştir.

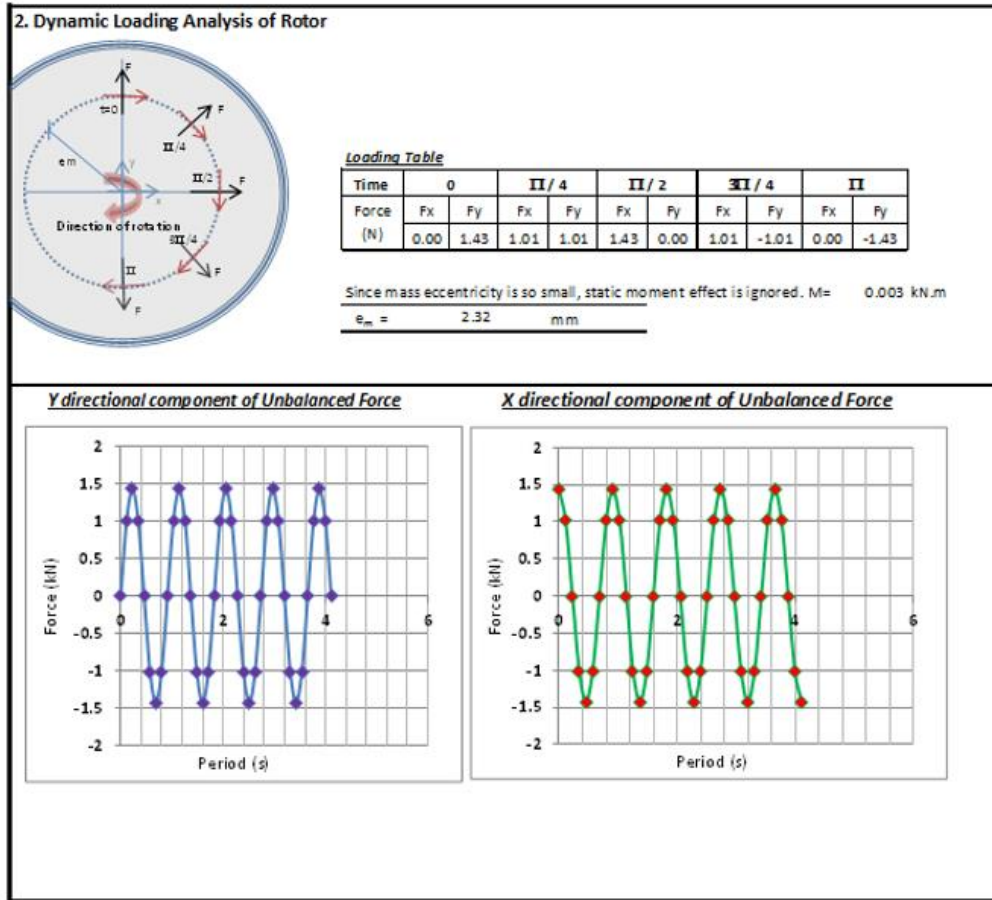


Şekil 6. Karton makinesi yandan görünüşü

MG silindiri için ACI 351.3R-04' e göre dengelenmemiş yüklerin hesabı şekil 7 ve şekil 8'de verilmiştir. Karton makinesindeki her bir roller ve dönen kütle için benzer hesaplamalar yapıp, dönen kütlelerin konumu ve üretim esnasındaki dönüş açısına göre bu yükler altında yapı ile birlikte “Zaman Tanım Alanında” analiz yapılmıştır.

ProMer		DYNAMIC EQUIPMENT FOUNDATION UNBALANCED FORCE CALCULATION		Structural Design Department Design Spreadsheets Sheet no: 1 Date of issue: 27/02/2019																																		
Project: Building: Description: Designer:		MURATLI KARTON FABRİKASI E BLOK-KARTON MAKİNESİ Jumbo Pres valsi - DİNAMİK ANALİZ Ali MAHDAVİ		Page:																																		
1. Technological Input Data According to technological drawing static rotor weights are given as: <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <thead> <tr> <th>Model Joint ID</th> <th>Rotor Weight (kN)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>Σm_r</td> <td>65</td> </tr> </tbody> </table>						Model Joint ID	Rotor Weight (kN)	-	65	Σm _r	65																											
Model Joint ID	Rotor Weight (kN)																																					
-	65																																					
Σm _r	65																																					
Table 3.1—Balance quality grades for selected groups of representative rigid rotors (excerpted from ANSI/ASA S2.19) <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <thead> <tr> <th>Balance quality grade</th> <th>Product of rot. mass (mm/s²)</th> <th>Rotor types—general examples</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>G1600</td> <td>63 (1600)</td> <td>Crankshaft/drives of rigidly mounted, large, two-cycle engines</td> </tr> <tr> <td>G630</td> <td>2.5 (630)</td> <td>Crankshaft/drives of rigidly mounted, large, four-cycle engines</td> </tr> <tr> <td>G250</td> <td>10 (250)</td> <td>Crankshaft/drives of rigidly mounted, fast, four-cylinder diesel engines</td> </tr> <tr> <td>G100</td> <td>4 (100)</td> <td>Crankshaft/drives of fast diesel engines with six or more cylinders</td> </tr> <tr> <td>G40</td> <td>1.6 (40)</td> <td>Crankshaft/drives of elastically mounted, fast four-cycle engines (gasoline or diesel) with six or more cylinders</td> </tr> <tr> <td>G16</td> <td>0.6 (16)</td> <td>Parts of crushing machines; drive shafts (propeller shafts, cardan shafts) with special requirements; crankshaft/drives of engines with six or more cylinders under special requirements</td> </tr> <tr> <td>G6.3</td> <td>0.25 (6.3)</td> <td>Parts of process plant machines; centrifuge drums, paper machinery rolls, print rolls, fans, flywheels, pump impellers; machine tool and general machinery parts; medium and large electric armatures of electric motors having at least 80 mm shaft height) without special requirement</td> </tr> <tr> <td>G2.5</td> <td>0.1 (2.5)</td> <td>Gas and steam turbines, including marine main turbines; rigid turbo-generator rotors; turbo-compressors; machine tool drives; medium and large electric armatures with special requirements; turbine driven pumps</td> </tr> <tr> <td>G1</td> <td>0.04 (1)</td> <td>Grinding machine drives</td> </tr> <tr> <td>G0.4</td> <td>0.015 (0.4)</td> <td>Spindles, discs, and armatures of precision grinders</td> </tr> </tbody> </table>						Balance quality grade	Product of rot. mass (mm/s²)	Rotor types—general examples	G1600	63 (1600)	Crankshaft/drives of rigidly mounted, large, two-cycle engines	G630	2.5 (630)	Crankshaft/drives of rigidly mounted, large, four-cycle engines	G250	10 (250)	Crankshaft/drives of rigidly mounted, fast, four-cylinder diesel engines	G100	4 (100)	Crankshaft/drives of fast diesel engines with six or more cylinders	G40	1.6 (40)	Crankshaft/drives of elastically mounted, fast four-cycle engines (gasoline or diesel) with six or more cylinders	G16	0.6 (16)	Parts of crushing machines; drive shafts (propeller shafts, cardan shafts) with special requirements; crankshaft/drives of engines with six or more cylinders under special requirements	G6.3	0.25 (6.3)	Parts of process plant machines; centrifuge drums, paper machinery rolls, print rolls, fans, flywheels, pump impellers; machine tool and general machinery parts; medium and large electric armatures of electric motors having at least 80 mm shaft height) without special requirement	G2.5	0.1 (2.5)	Gas and steam turbines, including marine main turbines; rigid turbo-generator rotors; turbo-compressors; machine tool drives; medium and large electric armatures with special requirements; turbine driven pumps	G1	0.04 (1)	Grinding machine drives	G0.4	0.015 (0.4)	Spindles, discs, and armatures of precision grinders
Balance quality grade	Product of rot. mass (mm/s²)	Rotor types—general examples																																				
G1600	63 (1600)	Crankshaft/drives of rigidly mounted, large, two-cycle engines																																				
G630	2.5 (630)	Crankshaft/drives of rigidly mounted, large, four-cycle engines																																				
G250	10 (250)	Crankshaft/drives of rigidly mounted, fast, four-cylinder diesel engines																																				
G100	4 (100)	Crankshaft/drives of fast diesel engines with six or more cylinders																																				
G40	1.6 (40)	Crankshaft/drives of elastically mounted, fast four-cycle engines (gasoline or diesel) with six or more cylinders																																				
G16	0.6 (16)	Parts of crushing machines; drive shafts (propeller shafts, cardan shafts) with special requirements; crankshaft/drives of engines with six or more cylinders under special requirements																																				
G6.3	0.25 (6.3)	Parts of process plant machines; centrifuge drums, paper machinery rolls, print rolls, fans, flywheels, pump impellers; machine tool and general machinery parts; medium and large electric armatures of electric motors having at least 80 mm shaft height) without special requirement																																				
G2.5	0.1 (2.5)	Gas and steam turbines, including marine main turbines; rigid turbo-generator rotors; turbo-compressors; machine tool drives; medium and large electric armatures with special requirements; turbine driven pumps																																				
G1	0.04 (1)	Grinding machine drives																																				
G0.4	0.015 (0.4)	Spindles, discs, and armatures of precision grinders																																				
2. Unbalanced Load Calculation acc. to ACI 351.3R-04 (3.2.2.1b) * Rotor balance quality from table-3.1: g16 Balance quality grade according DIN 4024 Sec. 5.4.2 (one grade worse): <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <thead> <tr> <th>Rotating Speed</th> <th>65.75 rpm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>f_o</td> <td>1.09583 Hz</td> </tr> <tr> <td>ω_o</td> <td>6.88532 rad/s</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>0.91 s</td> </tr> </tbody> </table>						Rotating Speed	65.75 rpm	f _o	1.09583 Hz	ω _o	6.88532 rad/s	T	0.91 s																									
Rotating Speed	65.75 rpm																																					
f _o	1.09583 Hz																																					
ω _o	6.88532 rad/s																																					
T	0.91 s																																					
<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <tbody> <tr> <td>$F_0 = m_r \cdot Q \cdot w_0 \cdot S_f / 1000$ N (eq. 3.4)</td> </tr> <tr> <td>Q = 16 from table-3.1 for g16</td> </tr> <tr> <td>S_f = 2</td> </tr> <tr> <td>m_r = 6500 kg</td> </tr> <tr> <td>F_o = 1432 N</td> </tr> </tbody> </table>						$F_0 = m_r \cdot Q \cdot w_0 \cdot S_f / 1000$ N (eq. 3.4)	Q = 16 from table-3.1 for g16	S _f = 2	m _r = 6500 kg	F _o = 1432 N																												
$F_0 = m_r \cdot Q \cdot w_0 \cdot S_f / 1000$ N (eq. 3.4)																																						
Q = 16 from table-3.1 for g16																																						
S _f = 2																																						
m _r = 6500 kg																																						
F _o = 1432 N																																						
<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <tbody> <tr> <td>e_m ω_o = 16 mm/s</td> </tr> <tr> <td>e_m = 2.32 mm</td> </tr> </tbody> </table>						e _m ω _o = 16 mm/s	e _m = 2.32 mm																															
e _m ω _o = 16 mm/s																																						
e _m = 2.32 mm																																						
<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <thead> <tr> <th>Model Joint ID</th> <th>Rotor Weight (kN)</th> <th>Unbalance Force (F)</th> <th>Unbalance Force (F)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-</td> <td>(kN)</td> <td>(N)</td> <td>(kN)</td> </tr> <tr> <td>RTR-1</td> <td>65</td> <td>± 1432</td> <td>1.432</td> </tr> </tbody> </table>						Model Joint ID	Rotor Weight (kN)	Unbalance Force (F)	Unbalance Force (F)	-	(kN)	(N)	(kN)	RTR-1	65	± 1432	1.432																					
Model Joint ID	Rotor Weight (kN)	Unbalance Force (F)	Unbalance Force (F)																																			
-	(kN)	(N)	(kN)																																			
RTR-1	65	± 1432	1.432																																			

Şekil 7. Dengelenmemiş yüklerin Hesabı-1 (ACI 351.3R-04)

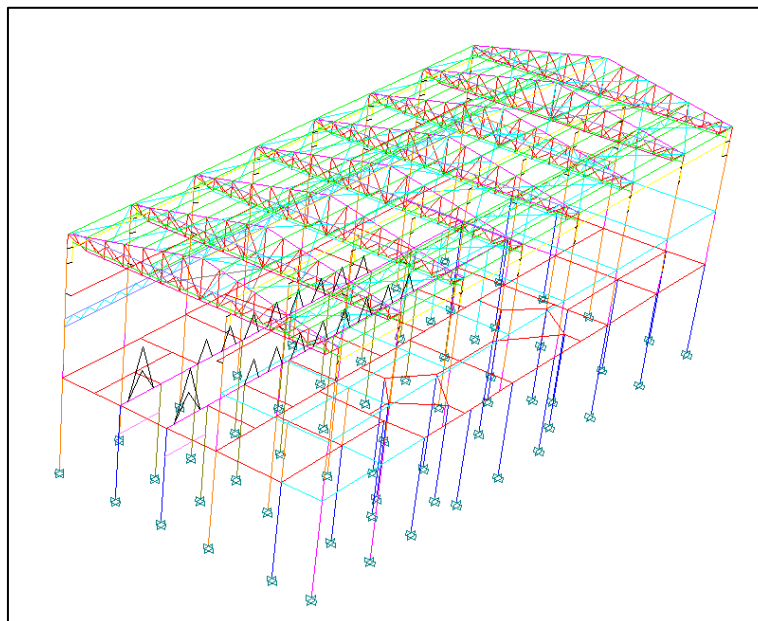


Şekil 8. Dengelenmemiş yüklerin Hesabı-2 (ACI 351.3R-04)

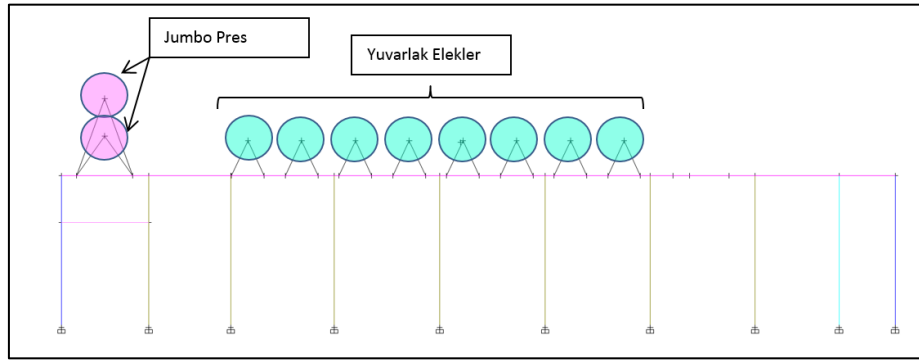
2.3. Yapının Bilgisayar Ortamında Modellemesi:

Analizler için ETABS ver 17 kullanılmıştır. Betonarme ve çelik kısımları takviye elemanları ile beraber modellenip ve analiz yapılmıştır.

Silindir yerleşimleri ve isimleri şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9. E Blok ETABS modeli

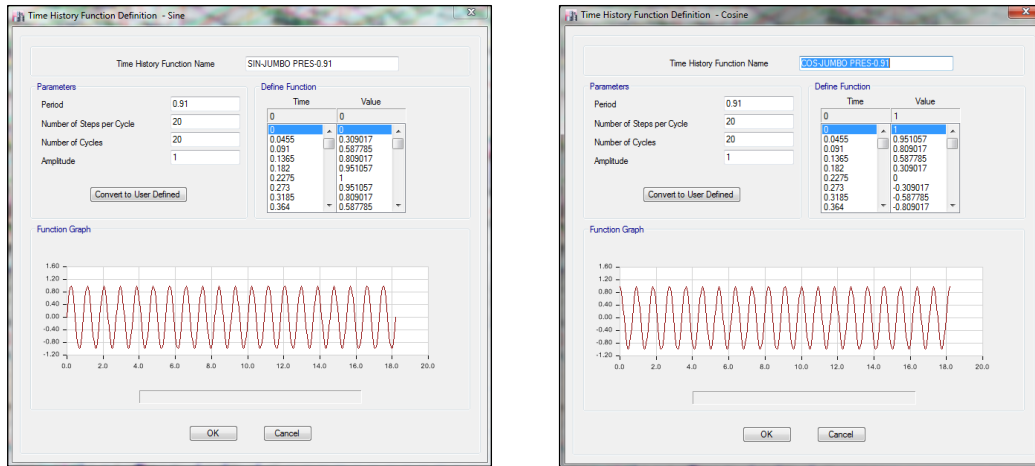


Şekil 10. E Blok Silindir Yerleşimleri

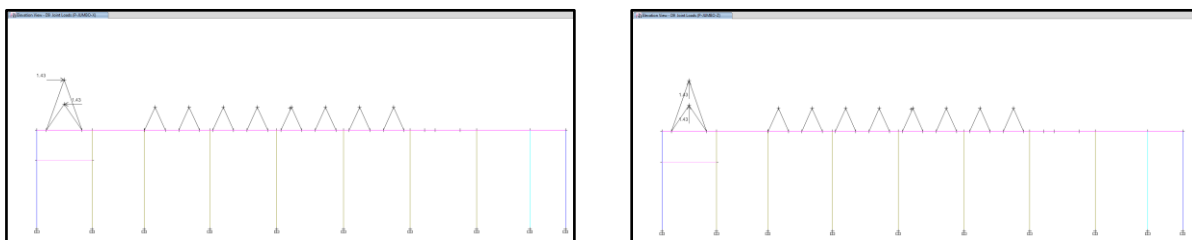
2.3.1. Zaman tanım alanında titreşim analizi:

Karton makinesindeki her bir dönel vals ve dönen kütle (motorlar) için unbalance yük hesaplamaları yapılarak harmonik yükleme şekline dönüştürülen kütlelerin konumu ve üretim esnasındaki dönüş açısına göre bu yükler altında yapı ile birlikte “Zaman Tanım Alanında” analiz yapılmıştır. Matematiksel modelde yatay yön yük düzeni sinüs fonksiyonu ve dikey yön kosinüs fonksiyonlarıyla ile eşleştirilmiştir. Bunun için, sinüs ve kosinüs fonksiyonları ayrı ayrı dönel silindierlerin çalışma frekansını dikkate alarak tanımlanmıştır. Uygulanan time history fonksiyonu Matematiksel modelde şekil 11 – 15 ‘de gösterilmektedir. Temsil eden zaman tanım fonksiyonlarının süresi yaklaşık 18 saniye tanımlanmıştır.

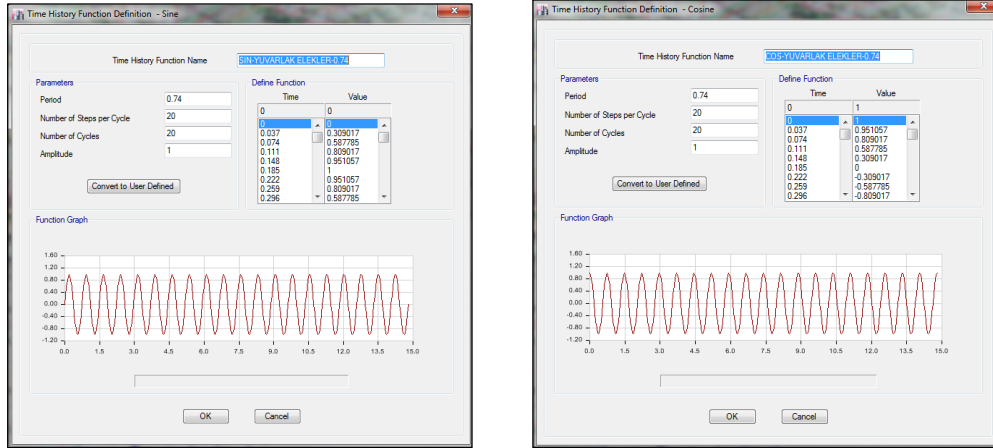
Altta ki sayfalarda, daha önce hesaplanan makine titreşim yük fonksiyonlar ve tanımlamaları, her bir silindir gurubu için verilmiştir.



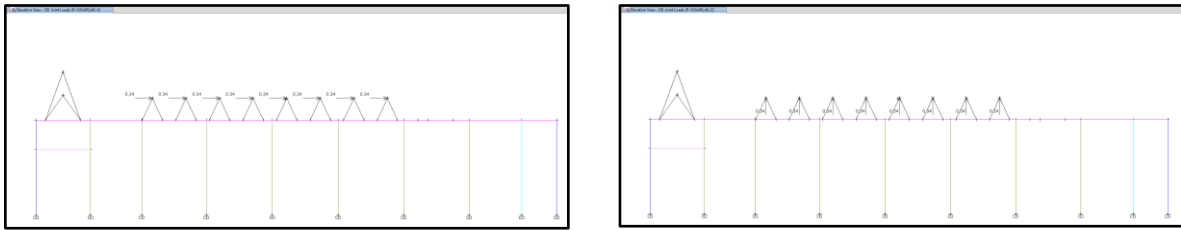
Şekil 11. Jumbo Press silindiri için tanımlanan zaman tanım fonksiyonu



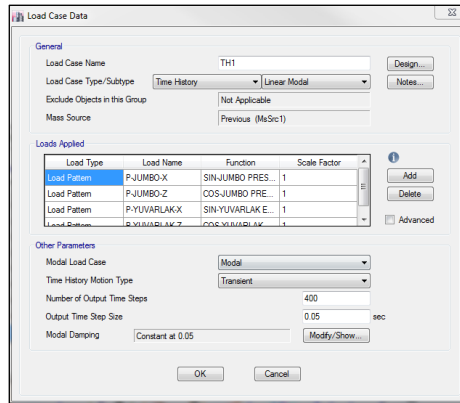
Şekil 12. Jumbo Press silindiri için tanımlanan zaman tanım yüklemesi



Şekil 13. Yuvarlak elekler silindiri için tanımlanan zaman tanım fonksiyonu



Şekil 14. Yuvarlak elekler silindiri için tanımlanan zaman tanım yüklemesi



Şekil 15. Makine titreşimlerini kapsayan zaman tanım yüklemesi

2.3.1.1. Zaman tanım alanında analiz sonuçları:

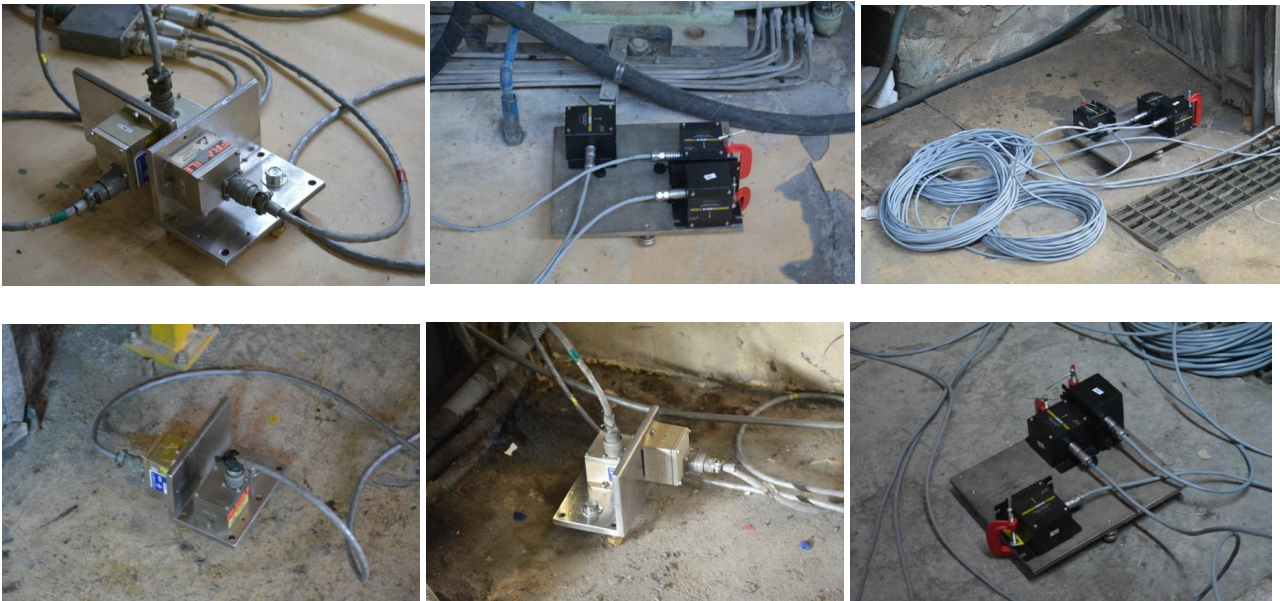
Bu bölümde, Analiz sonuçlarına göre dikey ve yatay yer değiştirme genlikleri ve titreşim hızları Her nokta için , grafik ve tablo şeklinde verilmiştir.



Şekil 16.

2.4. İvme Ölçer Çalışmaları:

Karton makinesinin çalışması esnasında mevcut yapıda ve ekipman “rollar” bağlantı noktalarında meydana gelen titreşimler, tesiste yapılacak hassas ölçümler ile netlik kazanmıştır.

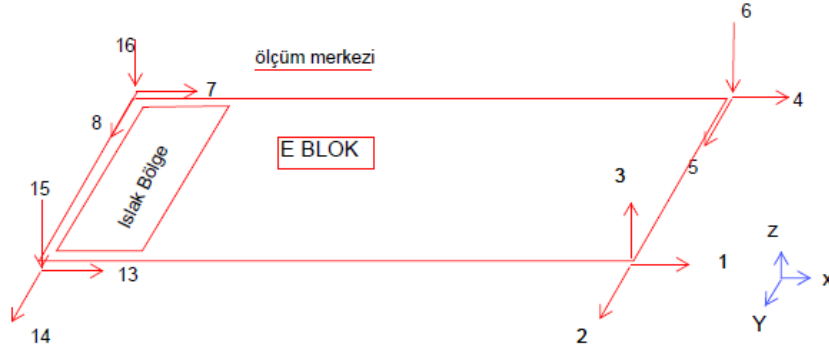


Fotoğraf 2. İvmeölçer çalışması fotoğrafları

2.4.1. Sensör yerleşimleri:

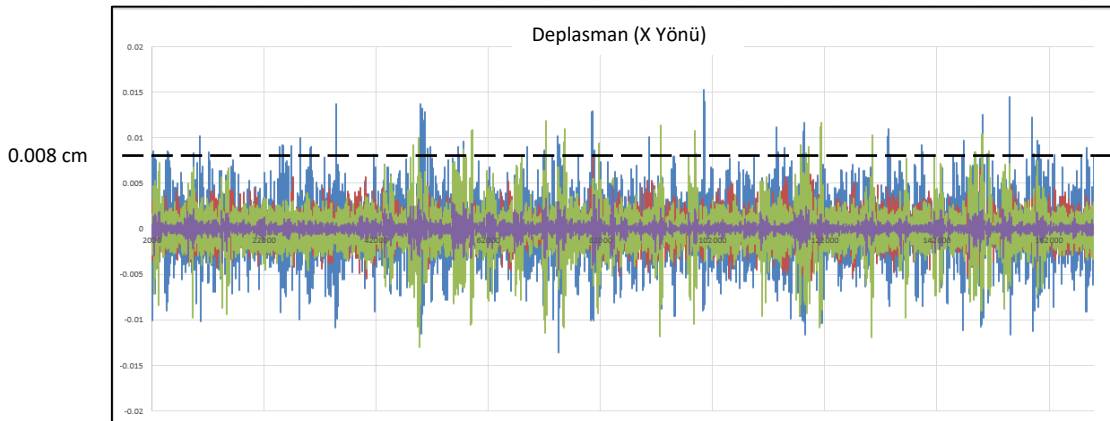
E blok için toplam 12 adet tek boyutlu ivme sensörü, altta gösterildiği şekilde yerleştirilmiştir. Kayıt işlem süresi 14 gün ve 0.01s zaman aralığında yapılmıştır.

Makine silindir hareketleri, bina titreşiminde X yönünde etkili oldukları için, X yönünde kayıt yapan sensörler için değerlendirme yapılmıştır.

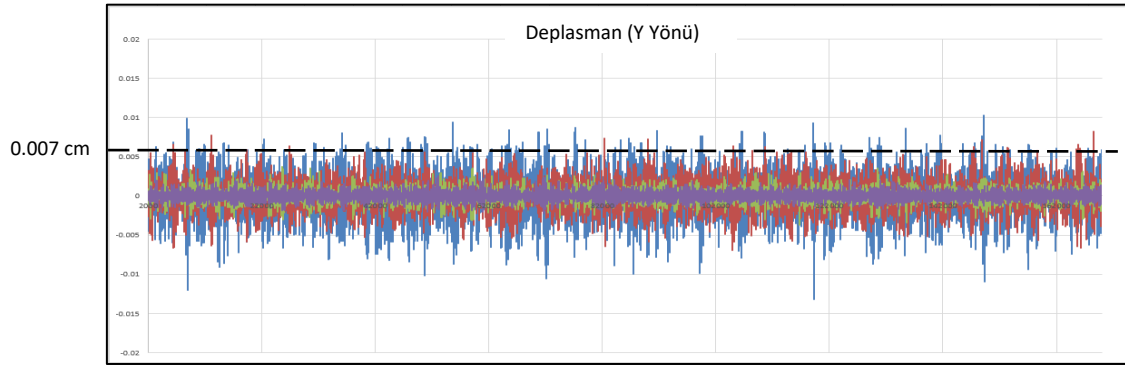


Şekil 17. E blok İvmeölçer yerleşimleri

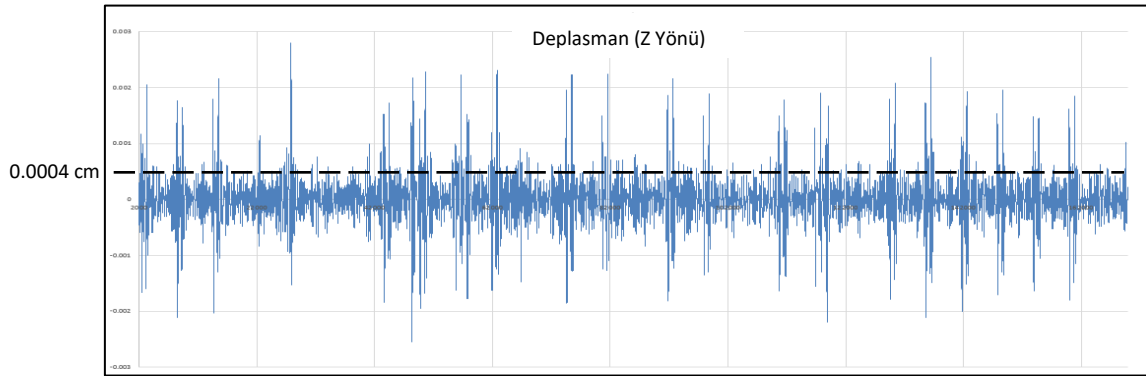
İvme kayıt dataları daha net gösterebilmek amacı ile, aynı yöndeki ivme ölçerlerden alınan örnek seçilmiş 1saatlik günlük kayıtlar üst üste bindirilmiştir. Şekil 18’de deplasman, Şekil 19’da hız için üst üste bindirilmiş kayıt grafikleri gösterilmiştir. İlave olarak X yönünde kayıt alan 13 numaralı ivme ölçer kayıtları 14 gün için uç uca eklenmiştir (Şekil 20). Burada her bir ayrı renk 1 saatlik kaydı göstermektedir. Bu grafiklerde, normal olmayan genlikler (ani değişiklikler) belirlenmiş, ilgili zaman aralığında kontroller yapılarak bu farkın kayıt sırasında yapısal olmayan nedenler ile (kayıt hatası, sensöre darbe vb) oluşanlar temizlenmiştir. İlave olarak üretim ve onarım esnasında yapıya verilen ani yüklemeler, vinç hareketleri, ağır ekipman hareketleri kayıtları ile sensör kayıtları karşılaştırılarak yapıya etkisi belirlenmiş ve makine titreşiminden ayrıştırılmıştır.



a.

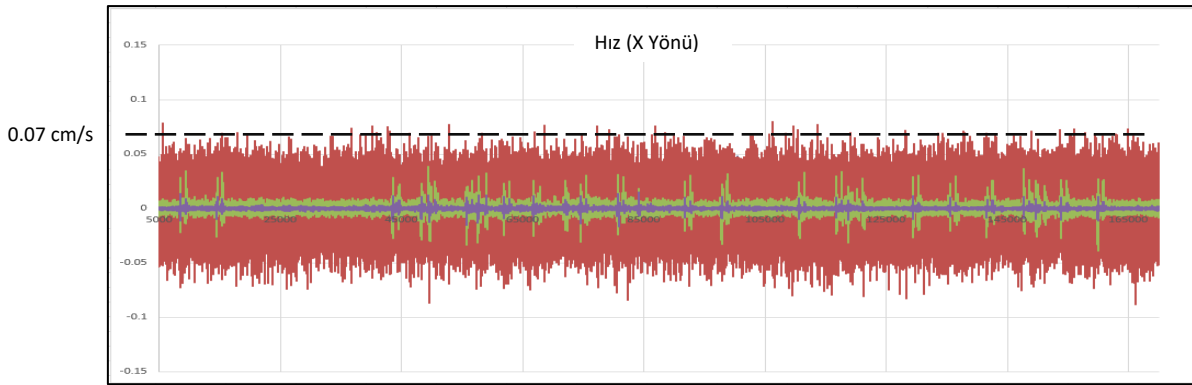


b.

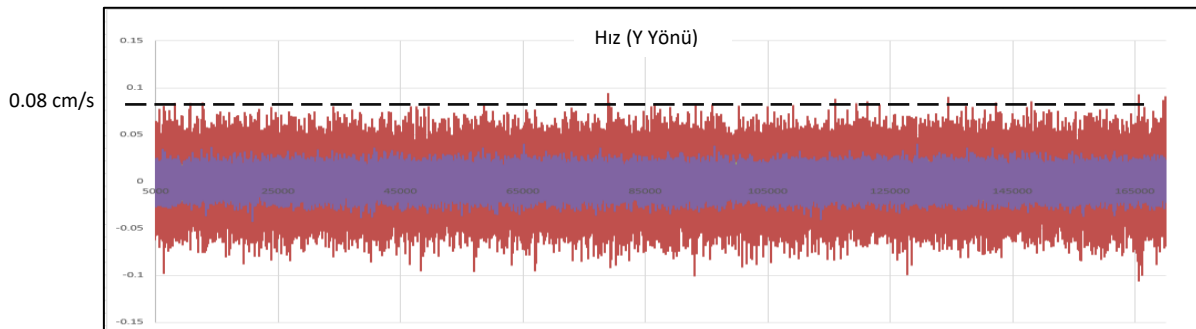


c.

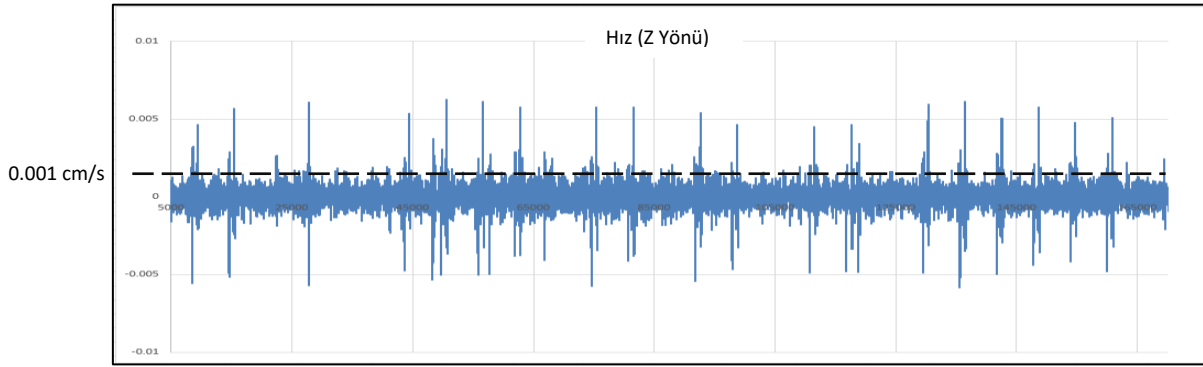
Şekil 18. İvme Ölçerlerden Dönüştürülerek Elde Edilen Deplasman Grafikleri



a.

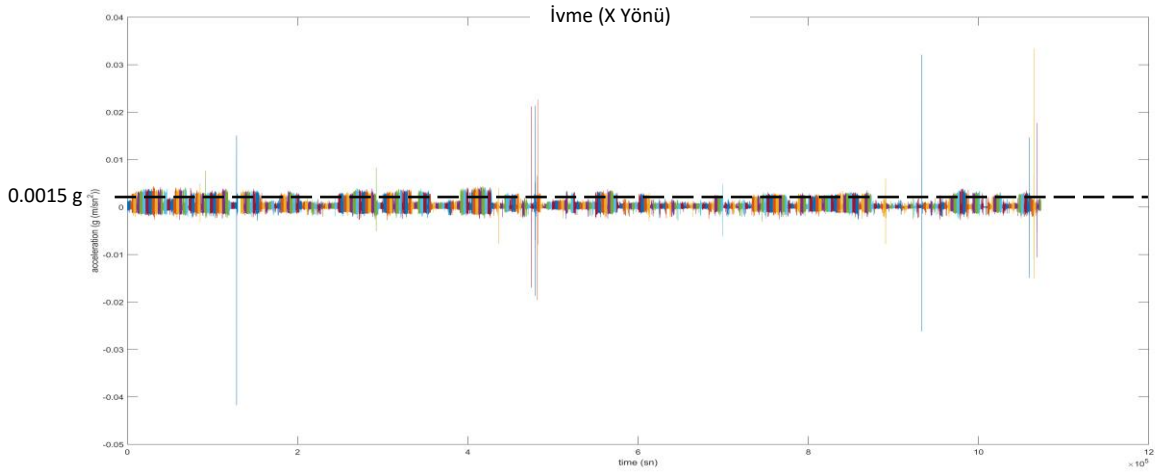


b.



C.

Şekil 19. İvme Ölçerlerden Dönüştürülerek Elde Edilen Hız Grafikleri



Şekil 20. X yönünde 13 Numara ivme ölçerden elde edilen ivme genlikleri

2.5. Zaman Tanım Alanında Analiz ve İvme ölçer Sonuçlarının Değerlendirilmesi:

Bu bölümde, analiz sonucundaki veriler ile ilgili yerlerdeki hassas sensör okuma değerleri karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırma esnasında, gerçek okuma sonuçları ile matematiksel analiz sonuçlarının, yapılan kabuller ve malzemenin dinamik yükler altındaki kompleks davranışı nedeniyle birebir örtüşmesi beklenmemektedir.

Tablo 1: Bilgisayar Ortamında Zaman Tanım Alanında Analiz ve Saha İvme Ölçer Kayıtları

	Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçları			İvme ölçer Okuma Değerleri		
	İvme(g)	Hız(cm/s)	Yerdeğiştirme(cm)	İvme(g)	Hız(cm/s)	Yerdeğiştirme(cm)
Yatay X yönü	0.0012	0.15	0.017	0.0015	0.07	0.008
Yatay Y yönü	0.002	0.24	0.028	--	0.08	0.007
Dikey Z yönü	0.00002	0.0027	0.00024	--	0.001	0.0004

KAYNAKLAR

1. ACI: 351-3R-2004, "Foundations for Dynamic Equipment",
2. CP: 2012 (Part I)-1974, "Code of practice for Foundations for Machinery",
3. DIN: 4024 (Part I)-1988,"Machine Foundations –Flexible Structures that Support Machines with Rotating Elements",
4. DIN: 4024 (Part II)-1988,"Machine Foundations –Rigid Structures that Support Machines with Periodic Excitation",
5. IS: 2974 (Part I)-1982, “Code of Practice for Design and Construction of Machine Foundations - Foundation for Reciprocating Type Machines”,
6. IS: 2974 (Part II)-1980, “Code of Practice for Design and Construction of Machine Foundations - Foundations for Impact Type Machines (Hammer Foundations)”,
7. IS: 2974 (Part III)-1992, “Code of Practice for Design and Construction of Machine Foundations - Foundation for Rotary Type Machines (Medium and High Frequency)”,
8. IS: 2974 (Part IV)-1979, “Code of Practice for Design and Construction of Machine Foundations - Foundation for Rotary Type Machines of Low Frequency”,
9. IS: 2974 (Part V)-1987, “Code of Practice for Design and Construction of Machine Foundations - Foundations for Impact Machines other than Hammers”,