

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİLİNDİRİK TANK İÇERİSİNDE SIVI ÇALKANTISI
NEDENİYLE OLUŞAN BASINÇ DEĞİŞİMLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Taylan BAĞCI

Anabilim Dalı: Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği

Programı: Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği

Tez Danışmanı: Yrd. Doç.Dr. N. Erdem ÜNAL

EYLÜL 2007

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında silindirik tank içerisinde sıvı çalkantısı nedeniyle oluşan basınç değişimleri incelenmiştir.

Çalışmam boyunca benden yardımlarını ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. N. Erdem ÜNAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, deneysel bir çalışma olmasından dolayı ihtiyacım olan desteği benden esirgemeyen meslektaşım İnş. Müh. Ahmet Bayer'e ve tez çalışmam süresince bilgilerini ve desteklerini benden eksik etmeyen İnş. Yük. Müh. Özgür Veysel Şadan KIRCA'ya, Çevre Müh. Bilge BAŞ'a ve Çevre Yük. Müh. Nilay ELGİNÖZ YAŞA'ya çok teşekkür ediyorum. Yine laboratuvar sisteminin oluşturulmasında yardımcı olan Teknisyen Mevlut ULUÇINAR'a teşekkür ediyorum.

Şimdiye kadar olduğu gibi bu çalışmada da bana sonsuz destek olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Eylül, 2007

İnş. Müh. Taylan BAĞCI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.1. Çalışmanın Kapsamı	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. DENEY DÜZENEGİ	6
3.1. Su Seviyesi Ölçümleri	8
3.2. Basınç Ölçerler	9
3.3. Değişkenler	9
4. SONUÇLAR	14
4.1. 1. Durum (Perdesiz)	14
4.2. 2. Durum (Taban Perdeli)	15
4.3. 3. Durum (Taban + Gövde Perdeli)	16
4.4. 4. Durum (Gövde Perdeli)	16
4.5. Boyutsuz Basınç Katsayıları	17
4.6. Öneriler	21
KAYNAKLAR	22
EKLER	24
ÖZGEÇMİŞ	77

KISALTMALAR

cm	: Santimetre
Hz	: Hertz
kPa	: Kilopaskal
kW	: Kilowatt
m	: Metre
mm	: Milimetre
r/s	: Radyan/Saniye

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Dönme Frekansları (ω_r).....	10
Tablo 4.1 Yapılan deneyler	13
Tablo 4.2 Düşük frekans değerleri için önerilen konfigürasyonlar.....	20
Tablo 4.3 Düşük frekans değerleri için önerilen konfigürasyonlar.....	21

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1	Silindirik Tank..... 6
Şekil 3.2	Deney Düzenegi.....7
Şekil 3.3	Basınç Problemlerinin Konumu..... 8
Şekil 3.4	1. Durum (Perdesiz).....11
Şekil 3.5	2. Durum (Taban Perdeli).....12
Şekil 3.6	3. Durum (Taban + Gövde Perdeli).....12
Şekil 3.7	4. Durum (Gövde Perdeli).....13
Şekil 4.1	Maksimum basınçlar için Cp değerleri [1. Durum (perdesiz), Doluluk oranı %75, Dönme açısı 8°, Dönme Frekansı 0.5 r/s]..... 17
Şekil 4.2	5 numaralı basınç ölçer doluluk oranının değişimine göre Cp değerleri18
Şekil 4.3	5 numaralı basınç ölçer doluluk oranının değişimine göre Cp değerleri18
Şekil 4.4	5 numaralı basınç ölçer frekans değişimine göre Cp değerleri19
Şekil 4.5	5 numaralı basınç ölçer dönme açısı değişimine göre Cp değerleri19
Şekil 4.6	5 numaralı basınç ölçer konfigürasyona göre Cp değerleri20
Şekil 4.7	5 numaralı basınç ölçer konfigürasyona göre Cp değerleri20
Şekil A.1-a	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki değişim.....26
Şekil A.1-b	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki değişim.....27
Şekil A.2-a	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki ortalama basınç değerleri.....28
Şekil A.2-b	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki maksimum basınç değerleri.....29
Şekil A.3-a	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki değişim.....30
Şekil A.3-b	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki değişim.....31
Şekil A.4-a	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki ortalama basınç değerleri.....32
Şekil A.4-b	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki maksimum basınç değerleri.....33
Şekil A.5-a	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 6 nolu basınç ölçerdeki değişim.....34
Şekil A.5-b	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 6 nolu basınç ölçerdeki değişim.....35
Şekil A.6-a	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 6 nolu basınç ölçerdeki ortalama basınç değerleri.....36

Şekil A.6-b	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 6 nolu basınç ölçerdeki maksimum basınç değerleri.....	37
Şekil A.7	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 2 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	38
Şekil A.8	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 2 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri.....	39
Şekil A.9	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 9 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	40
Şekil A.10	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 9 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri.....	41
Şekil A.11	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 3 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	42
Şekil A.12	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 3 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri.....	43
Şekil A.13	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 8 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	44
Şekil A.14	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 8 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri.....	45
Şekil A.15	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 10 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	46
Şekil A.16	Dönme Frekansı 0.5 r/s için 10 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri.....	47
Şekil A.17-a	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	48
Şekil A.17-b	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	49
Şekil A.18-a	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki ortalama basınç değerleri.....	50
Şekil A.18-b	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki maksimum basınç değerleri.....	51
Şekil A.19-a	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	52
Şekil A.19-b	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	53
Şekil A.20-a	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki ortalama basınç değerleri.....	54
Şekil A.20-b	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki maksimum basınç değerleri.....	55
Şekil A.21-a	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 6 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	56
Şekil A.21-b	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 6 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	57
Şekil A.22-a	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 6 nolu basınç ölçerdeki ortalama basınç değerleri.....	58
Şekil A.22-b	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 6 nolu basınç ölçerdeki maksimum basınç değerleri.....	59
Şekil A.23	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 2 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	60
Şekil A.24	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 2 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri.....	61

Şekil A.25	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 9 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	62
Şekil A.26	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 9 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri.....	63
Şekil A.27	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 3 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	64
Şekil A.28	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 3 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri.....	65
Şekil A.29	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 8 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	66
Şekil A.30	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 8 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri.....	67
Şekil A.31	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 10 nolu basınç ölçerdeki değişim.....	68
Şekil A.32	Dönme Frekansı 1.0 r/s için 10 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri.....	69
Şekil B.1-a	Maksimum basınçlar için boyutsuz basınç değeri (Cp), Dönme frekansı 0.5 r/s.....	71
Şekil B.1-b	Maksimum basınçlar için boyutsuz basınç değeri (Cp), Dönme frekansı 0.5 r/s.....	72
Şekil B.2-a	Maksimum basınçlar için boyutsuz basınç değeri (Cp), Dönme frekansı 0.7 r/s.....	73
Şekil B.2-b	Maksimum basınçlar için boyutsuz basınç değeri (Cp), Dönme frekansı 0.7 r/s.....	74
Şekil B.3-a	Maksimum basınçlar için boyutsuz basınç değeri (Cp), Dönme frekansı 1.0 r/s.....	75
Şekil B.3-b	Maksimum basınçlar için boyutsuz basınç değeri (Cp), Dönme frekansı 1.0 r/s.....	76

SEMBOL LİSTESİ

d	: Silindir Tank Çapı
g	: Yer Çekimi İvmesi
h	: Su Derinliği
H	: Dalga Yüksekliği
P	: Basınç
P_{max}	: Maksimum Basınç
ρ	: Suyun Özgül Kütlesi
T_N	: Doğal Periyot
ω_n	: Doğal Frekans
ω_r	: Dönme Frekansı

ÖZET

SİLİNDİRİK TANK İÇERİSİNDE SIVI ÇALKANTISI NEDENİYLE OLUŞAN BASINÇ DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Ekonomik ve ticari açıdan değer taşıyan sıvılar (su, akaryakıt, kimyasal maddeler v.s.) çeşitli araçlarla taşınmakta ve belirli depolama alanlarında saklanmaktadır. Gerek taşımalar sırasında aracın hareketi gerekse de depolama tanklarına deprem esnasında gelebilecek sismik kuvvetler nedeniyle bu tanklarda sıvı çalkantısı meydana gelmektedir. Bu etki ile meydana gelen basınçlar sıvıyı barındıran tanklarda yerel hasarlar ve genel stabilite problemlerine neden olabilmektedir. Bu çalışmada, kısmi dolu bir silindirik tank içerisinde harmonik hareketten dolayı oluşan çalkantının neden olduğu basınç değişimleri deneysel yollarla elde edilmiştir. Bu amaçla bir deney düzeneği İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Hidrolik Anabilim Dalı bünyesinde bulunan 110 numaralı odada kurulmuş ve çeşitli parametrelerin (dönme açısı, doluluk oranı, dönme frekansı ve perde konfigürasyonları) değişimi durumunda ortaya çıkan farklı basınç değerleri ölçülmüştür. Harmonik hareket bir doğru akım motoruyla elde edilmiş, basınç ve dalga yüksekliği zaman serileri piyozoelektrik sensörler ve direnç tipi seviye ölçerler kullanılarak kaydedilmiştir. Ölçümler sonunda elde edilen veriler çeşitli grafikler ile sunulmuştur. Ayrıca yine bu veriler yardımıyla boyutsuz basınç değerleri hesaplanmıştır. Böylece farklı parametreler arasında da ilişkiler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda çalkantıdan dolayı ortaya çıkan basınçları azaltabilmek amacıyla çeşitli gövde ve taban perdeleri önerilmiştir. Böylece sıvı maddelerin (su, akaryakıt, kimyasal maddeler gibi) taşınmasında veya depolanmasında kullanılan tanklarda meydana gelen basınçların öngörülmesine yardımcı olacak bulgular elde edilmiştir.

SUMMARY

EXAMINING PRESSURE CHANGINGS IN CYLINDRICAL TANKS CAUSED BY SLOSHING

Liquids that have economic and commercial values (water, petroleum products, chemicals, etc.) are transported by various vehicles/vessels and kept in specific tanks. Sloshing occurs in these tanks due to motion of vehicles/vessels and also seismic forces that acts during earthquakes. Pressures as a consequence of these effects may cause local damages and general stability problems on partial filled tanks. In this study, pressure patterns in partial filled cylindrical tanks brought about by sloshing that is formed by harmonic motion are obtained experimentally. For this purpose, an experiment system was set up in Istanbul Technical University Hydraulics Laboratory Room 110 and pressures occurring for changing values of different parameters (rolling angle, filling depth, rolling frequency and baffle configurations) were measured. Harmonic motion was obtained by a DC motor, pressure and wave height time series were recorded via nine piezoelectric sensors and a resistant type level probe respectively. Data obtained from the experiments is presented by means of charts. Furthermore, dimensionless pressure values were calculated in order to evaluate the relation between various parameters. Different body and base baffles are recommended in accordance with the obtained results. Accordingly, results that would be beneficial for predicting the pressures on the structures used for transportation and storage of liquids (such as water, petroleum products, chemicals, etc.) are obtained.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Ekonomik ve ticari açıdan değer taşıyan sıvılar (su, akaryakıt, kimyasal maddeler v.s) çeşitli araçlarla taşınmakta ve belirli depolama alanlarında saklanmaktadır. Gerek taşımalar sırasında aracın hareketi gerekse de depolama tanklarına deprem esnasında gelebilecek sismik kuvvetler nedeniyle bu tanklarda sıvı çalkantısı meydana gelmektedir. İşte bu sıvı hareketi, eğer tankın salınım frekansı ile sistemin doğal frekansı örtüşürse, tanka çok büyük miktarda kuvvet bindirebilmektedir (Sames ve diğ., 2002). Sıvı çalkantısından dolayı oluşabilecek hasarlarda büyük miktarlarda ekonomik kayıplar meydana gelebilir. Ayrıca bu hasarlardan dolayı oluşabilecek kazalarda ise insan hayatı tehlikeye girebilir, ciddi boyutlarda çevresel kirlilik oluşabilir. Bunlar gibi istenmeyen sonuçları önleyebilmek ve öngörebilmek için kısmi dolu tanklardaki sıvı çalkantısını anlayabilmek gerekmektedir.

Bu çalışma ile silindirik tanklarda hareketten dolayı meydana gelen sıvı çalkantısının oluşturduğu basınç değişimleri belirlenerek söz konusu çalkantının meydana getirdiği olumsuz etkilerin azaltılması yönünde çözüm üretilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Silindirik tankta çalkantıdan dolayı oluşan basınç değişimlerinin tespit edilmesi amacıyla yapılan bu çalışmanın ikinci bölümünde çalkantı problemi ele alınmış ve tarihsel süreçte yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu bölümde kullanılan doğal periyodun nasıl hesaplandığı da verilmiştir.

Üçüncü bölümde, deneysel çalışmada kullanılan deney sistemi anlatılarak yapılan deney konfigürasyonları detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde ise yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiştir ve önerilere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Kısmi dolu tanklardaki sıvı hareketi, eğer tankın salınım frekansı doğal frekansa yakın bir değer alırsa tanka büyük yükler getirebilmektedir. Bu olay “çalkantı” olarak adlandırılmaktadır (Sames ve diğ., 2002). Bu çalkantı probleminin çözümü ile ilgilenildiğinde iki temel sorunla karşılaşılmaktadır. Bunlar tank ile sıvı arasındaki hareketli sınır koşulları ve sıvı serbest yüzeyinin nonlineer hareketidir (Akyıldız ve Çelebi, 2001). Bu sorunların çözümü için gerek matematiksel, gerekse deneysel modeller üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır

Tarihsel süreçte çalkantı problemi ile ilgili ilk çalışmalar 1831 yılında Faraday (1831) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Faraday dikey salınımlı konteynırlardaki çalkantı ile ilgilenmiştir. Bu tarihten sonra en kayda değer çalışmalar uzay araçlarının yakıt tanklarında hareketten dolayı oluşan denge probleminin çözümü için yürütülmüştür. Eğer tankın içerisine çalkantı önleyici ekipmanlar yerleştirilirse sıvının hareketini lineer teoriler kullanarak modellemek mümkün olabilmektedir (Gavrilyuk ve diğ., 2005). İşte bu teoriler hakkında matematiksel ve sayısal ilk çalışmalar Abramson (1966), Feschenko ve diğ. (1969) ve Robinovich (1975) tarafından yapılmıştır. Abramson (1966), ivmelenen bir tanktaki sıvı hareketi ile ilgili olarak hem analitik hem de deneysel yollarla elde ettiği sonuçları karşılaştırmış ve çıkarımlar elde etmiştir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile paralel olarak ortaya çıkan sayısal yaklaşımlarla Feng 1973’te, Faltinsen 1974 ve 1978’deki, Von Kerchzek 1975’te, Nakayama ve Washizu 1980’de, Dillingham 1981’de, Lui ve Lou 1990’da, Solaas ve Faltinsen 1997’de ve Lee ve Choi de 1999’da çeşitli modeller geliştirmişlerdir (Akyıldız ve Çelebi, 2001). Warnitchai ve Pinkaew (1998) ise dikdörtgenler prizması şeklindeki bir tankta, çalkantı sönümleyici ekipmanların etkisini inceleyebilmek için bir sayısal yöntem geliştirmişlerdir. Kullandıkları denklemlerde sıvıyı viskoz olmayan, sıkışmayan ve çevrintisiz olarak kabul etmişlerdir. Ayrıca yüzey gerilimi etkilerini de ihmal edilmişlerdir. Kurdukları bu sayısal modeli sıvı çalkantısının kontrolü için geliştirilen engeller ve ağların etkilerini tespit etmek için kullanmışlardır.

Schumann (1998), tipik bir kimyasal ve gaz tankını ele almış ve çeşitli yerlerine engeller koyarak tankın yüzeyine gelen basınç değişimlerini incelemiştir. Çalışması sonucunda koyduğu engellerin sıvı hareketini ciddi bir şekilde düşürdüğünü gözlemlemiştir. Bu çalışmaya atfen yayınladıkları makalede Sames ve Schellin (1998), hareket genliğinin seçiminde rezonans halinin ortaya çıkmaması için dikkatli davranılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Anderson ve diğ. (2001) kurdukları deney düzeneğinde kendi tasarladıkları yüzer sönümleyiciler ile hem dikey hem de yatay şekilde kullandıkları silindirik tanklarda çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarında çalkantı dalgasının genliğini çeşitli oranlarda azaltmayı başarmışlardır.

Çelebi ve Akyıldız (2002) dikdörtgenler prizması şeklindeki bir tankta hareketten dolayı oluşan çalkantı için engelsiz ve taban engelli durumları göz önüne alarak sayısal model oluşturup elde ettikleri sonuçlarda bu iki durumu karşılaştırmışlardır.

Sames ve diğ. (2002) dikdörtgenler prizması ve silindirik tankta oluşan çalkantıları hem çeşitli sayısal metotlar kullanarak hem de deneysel olarak ele almış ve iki durumda ortaya çıkan sonuçları karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçlarda dikdörtgenler prizması ve silindirik tank için en uygun sayısal modeli önermiştir.

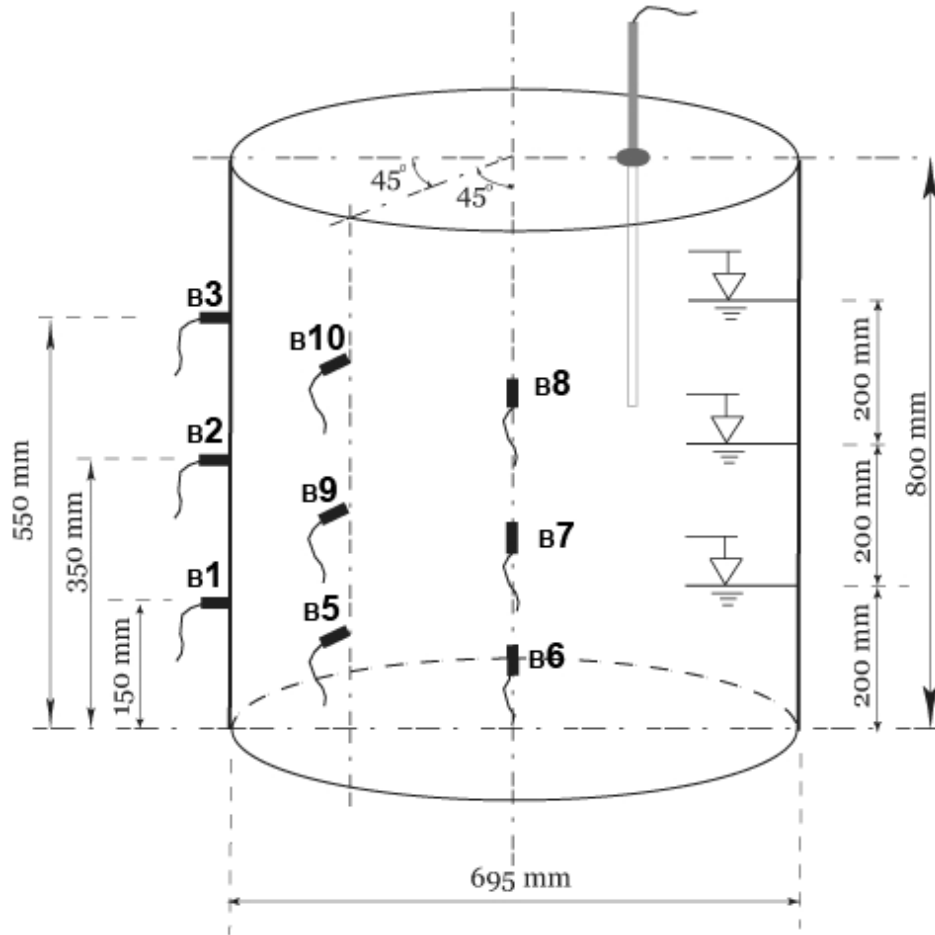
Deprem esnasında su depolarının durumları da çeşitli çalışmalarda ele alınmıştır (Housner, 1963), (Rosenblueth ve Newmark, 1971), (Haroun, 1983). Bu çalışmalar sonucunda su depoları için tasarım kriterleri geliştirilmiştir. Ayrıca deprem etkilerini azaltmak için Kim ve Lee (1995) temel ile yapı arasına elastomer yatak yerleştirerek deneyler yapmıştır ve çalkantı nedeniyle oluşan dinamik kuvvetleri azaltmayı başarmıştır. Bu çalışmayı takiben Shrimali ve Jangid (2004) temelden izole edilmiş su depolarının deprem esnasındaki davranışı ile ilgili teorik çalışmalar yapmışlardır ve sistemin yer değiştirmelerini hesaplamışlardır.

Akyıldız ve Ünal (2005, 2006) yaptıkları çalışmada dikdörtgenler prizması içine çeşitli engeller yerleştirip değişik konfigürasyonlarda deneyler yapmışlar, elde ettikleri deney sonuçlarında ise değişik durumlar için hangi perde sisteminin uygun olacağını karşılaştırmalı olarak açıklamışlardır.

Kim ve diğ. (2007) sıvı yük taşıyan gemilerde hareket esnasında oluşan sıvı çalkantısının ikincil etkilerini incelemek amacıyla sayısal bir model kurmuşlardır. Çalışmalarında, etki-tepki fonksiyonu (IRF) metodunu kullanmış olup, sonlu farklarla çözüme gitmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları kendilerinden önce yapılmış olan ve farklı metotlar kullanılan sayısal modellerle karşılaştırmışlardır.

3. DENEY DÜZENEGİ

Kısmi dolu silindirik tanklardaki çalkantı davranışını anlayabilmek için çeşitli konfigürasyonlarda basınç ve su yüzeyi değişimlerini ölçecek bir deney düzeneği hazırlanmıştır (Şekil3.1). Deney düzeneği İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Hidrolik Anabilim Dalı bünyesinde bulunan Hidrolik Laboratuvarı 110 numaralı odada kurulmuştur.



Şekil 3.1 : Silindirik Tank

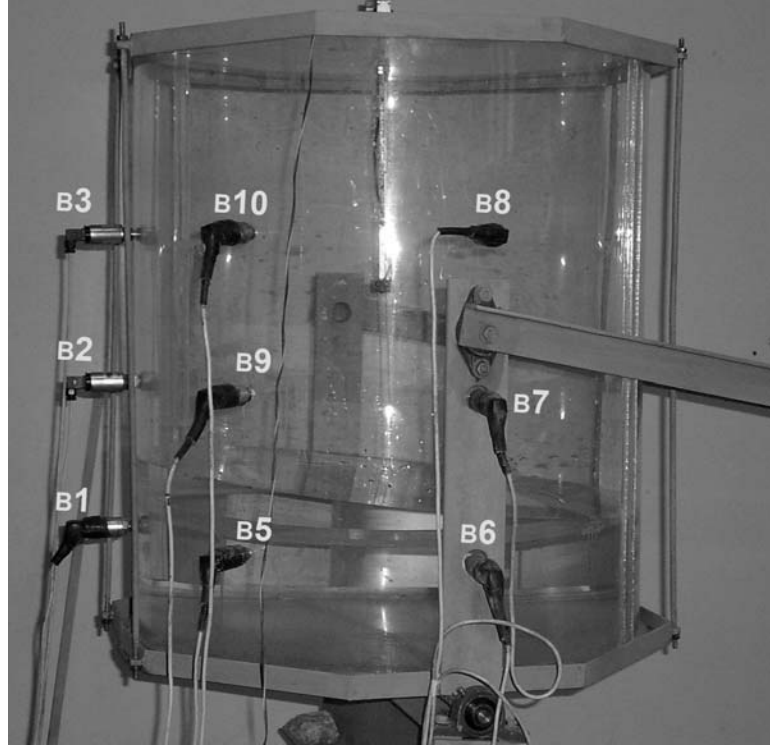
Bu deney için boyu 800 mm., çapı 695 mm. olan bir silindirik tank hazırlanmıştır. İçerideki sıvı hareketlerini kolayca gözleyebilmek için silindirik tank pleksiglastan

üretiştir. Şekil 3.1' de gösterildiği gibi merkezden 45 derecelik açılarla ve de 150, 350, 500 mm., derinliklerinde, her derinlik seviyesine 3 adet gelecek şekilde, toplam 9 adet basınç ölçer yerleştirilmiştir. Ayrıca yüzeydeki su değişimlerini ölçebilmek için de yukarıdan bir adet dalga probu sarkıtılmıştır.



Şekil 3.2 : Deney Düzenegi

Silindirik tank bir mile oturtulup bir kol vasıtasıyla 15 kW gücündeki motora bağlanmıştır (Şekil 3.2). Bu motor sayesinde tanka 4° ve 8°'lik dönme açıları uygulanmıştır. Ayrıca çeşitli dönme frekansları da bu sayede tanka iletilebilmiştir. Dalga yükseklikleri için 1 adet ve basınçlar için 1 adet olmak üzere toplam 2 adet bilgisayar kullanılmıştır. Ölçümler sırasında 7 numaralı basınç ölçer tanka uygulanan kuvvet koluna çok yakın olduğundan fazla miktarda titreşime maruz kaldığı gözlenmiştir. Bu nedenle 7 numaralı basınç ölçerin verdiği değerler bu çalışmada göz ardı edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Basınç Proplarının Konumu

3.1 Su Seviyesi Ölçümleri

Deneylerde su seviyesi zaman serileri “direnç tipi seviye ölçer” kullanılarak yapılmıştır. Bu seviye ölçer, 40 cm uzunluğunda ve 2 cm genişliğinde bir “u” olacak şekilde metal bir çubuktur. Yaklaşık 9 Volt’luk doğru akımla beslenen seviye ölçer suyun içine girdikçe direnci değişeceği için çıkış voltajı değişmekte ve bu şekilde seviye izlenmektedir. Seviye ölçerin voltaj beslemesini yapan ve çıkış voltajının farkını ölçen gelişmiş bir voltmetre bulunmaktadır. Bu sistem daha ziyade dalga zaman serilerinin kaydında kullanıldığı için voltmetre “dalga monitörü” olarak da bilinir.

Sistem deneylerde kullanılmadan önce seviye ölçerlere akım taşıyan kabloların direnci dalga monitörü üzerinden sıfırlanarak, direnç kaybının yalnızca su içerisindeki seviye ölçerlerden kaynaklanması sağlanır. Daha sonra ölçülmesi muhtemel maksimum ve minimum seviyelere göre (örneğin ± 15 cm) dalga monitöründeki besleme (gain) ayarı yapılarak kullanılacak olan sistemin hassasiyeti

ayarlanabilir. Bir sonraki aşamada ise seviye ölçerin su içerisine belli aralıklarla batırılıp çıkarılmasıyla cm—Volt kalibrasyon eğrisi elde edilir. Bu kalibrasyon eğrisi seviye ölçer su içerisinde merkezlendiği (ortalandığı) sürece lineere çok yakın olduğundan, kalibrasyon eğrisi doğrusal kabul edilmektedir.

Dalga monitörünün analog olarak ölçtüğü verileri zaman serisi olarak kaydetmek amacıyla bir analog/dijital dönüştürücü ve bir bilgisayar kullanılmıştır. Bu dönüştürücü kart ve bilgisayar ile su seviyesi zaman serileri İTÜ Hidrolik Laboratuvarı öğretim üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Necati Erdem ÜNAL tarafından yazılan bir program vasıtası ile 20 Hz sıklıkta kaydedilmiştir.

Sistemin hassasiyeti incelendiğinde ise, dijital olarak kaydedilen volt değerlerindeki minimum artış basamağının 0,01 Volt'tan küçük olduğu görülür. Ölçümlerde genel olarak 1 cm yaklaşık 1,7 Volt mertebesine tekabül ettiğine göre, seviye değerlerinin yaklaşık hassasiyeti kalibrasyon hatalarının dışında 0,06 mm mertebesindedir.

3.2 Basınç Ölçerler

Kullanılan basınç ölçerler, basınca duyarlı membran ve piyezoelektrik tipi sensorlar içeren 7 cm uzunluğunda ve 2,5 cm çapında silindir şeklinde metal ünitelerdir. Basıncı ölçen uçlarında 4 mm çaplı ve 5 mm derinliğinde dışı vida dişli çıkıntıları vardır. Isıyla büzülen plastik kılıflar kullanılarak su geçirmez hale getirilen basınç ölçerler tank çeperine basınç ölçerin uçlarından vidalanmışlardır. Bu şekilde basınç ölçerler tank içerisindeki akımı bozmadan cidarlardaki basınçlar ölçülebilmektedir.

Basınç ölçerlerin ölçebildikleri maksimum basınç 5 Bar ve hassasiyetleri de yaklaşık %0,4 ~ %0,5 civarındadır. Analog basınç verileri Agilent-Benchmark marka bir veri kaydedici (data logger) ile yaklaşık 2,5 Hz sıklıkla kaydedilmiştir. Basınç zaman serilerinin kaydında veri kaydediciyi üreten şirketin yazılımı kullanılmıştır.

3.3 Değişkenler

Deney düzeneğinde dönme açısı, doluluk oranı, dönme frekansı ve perde konfigürasyonları olmak üzere toplam 4 adet değişken kullanılmıştır.

Kısmi dolu tanklara dış kuvvetler etkidiğinde, bu tanklar kuvveti içerilerinde bulunan sıvıya iletirler ve sıvının harekete geçmesini sağlarlar. Eğer tank hareketinin frekansı, doğal frekansa yaklaşırsa yüksek çalkantı genlikleri ortaya çıkmaktadır (Akyıldız ve Ünal, 2005). İşte bu çalkantıdan dolayı rezonans oluşursa yıkıcı etkiler gözlemlenebilir. Çalkantının genliği doğal frekansa, tank hareketinin frekansı ve genliğine, tank geometrisiyle özelliklerine ve tankın doluluk oranına bağlıdır Akyıldız ve Ünal (2005). Silindirik bir tankta doğal periyot:

$$T_N = \left[3.522 \sqrt{1 - \frac{h}{d}} + 2.761 \right] \sqrt{\frac{d/2}{g}} \quad (3.1)$$

şeklinde hesaplanabilir (Sames ve diğ., 2002). Burada T_N doğal periyodu, h su derinliğini, d silindir tankın çapını, g ise yerçekimi ivmesini simgelemektedir.

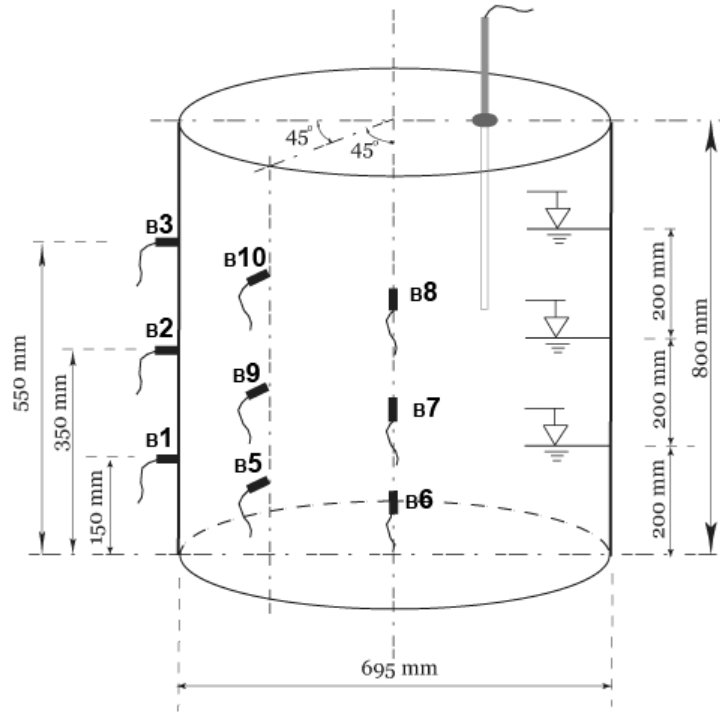
Dönme açısı olarak 4^0 ve 8^0 'lik açılar uygulanmıştır. Doluluk oranları %25, %50 ve de %75 olarak alınmıştır. Dönme frekansları (ω_r) ise Tablo 3.1 de gösterildiği şekilde seçilmiştir.

Tablo 3.1: Dönme Frekansları (ω_r)

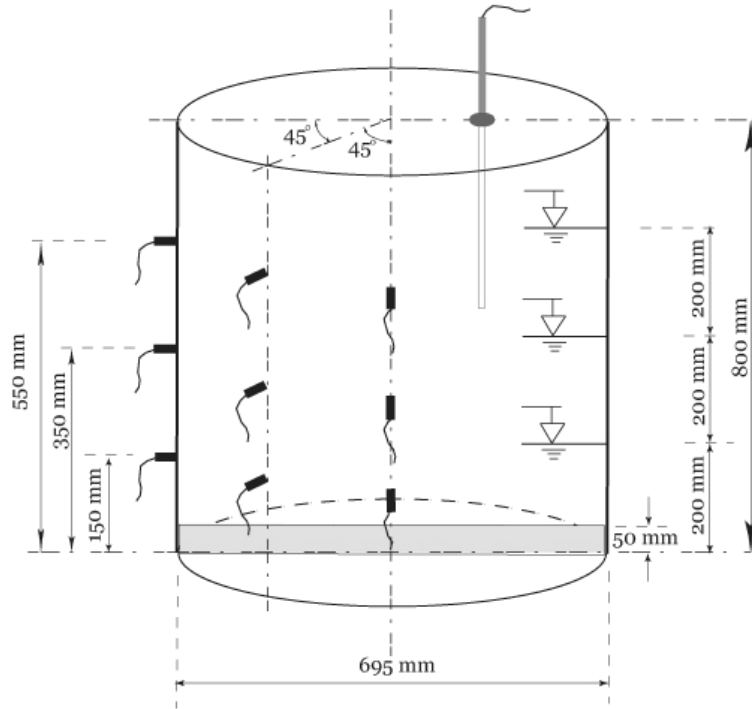
%25 Doluluk Oranı için dönme frekansları (r/s)	%50 Doluluk Oranı için dönme frekansları (r/s)	%75 Doluluk Oranı için dönme frekansları (r/s)
0.5	0.5	0.5
0.6	0.6	0.6
0.7	0.7	0.7
0.8	0.8	0.765
0.9	0.9	0.8
1	0.951	0.9
1.079	1	1
1.1	1.1	
1.2	1.2	

Bununla beraber doğal frekanslar (ω_n) denklem 2.1'den yararlanarak %25 doluluk oranı için 1.079, %50 doluluk oranı için 0.951, %75 doluluk oranı için 0.765 olarak

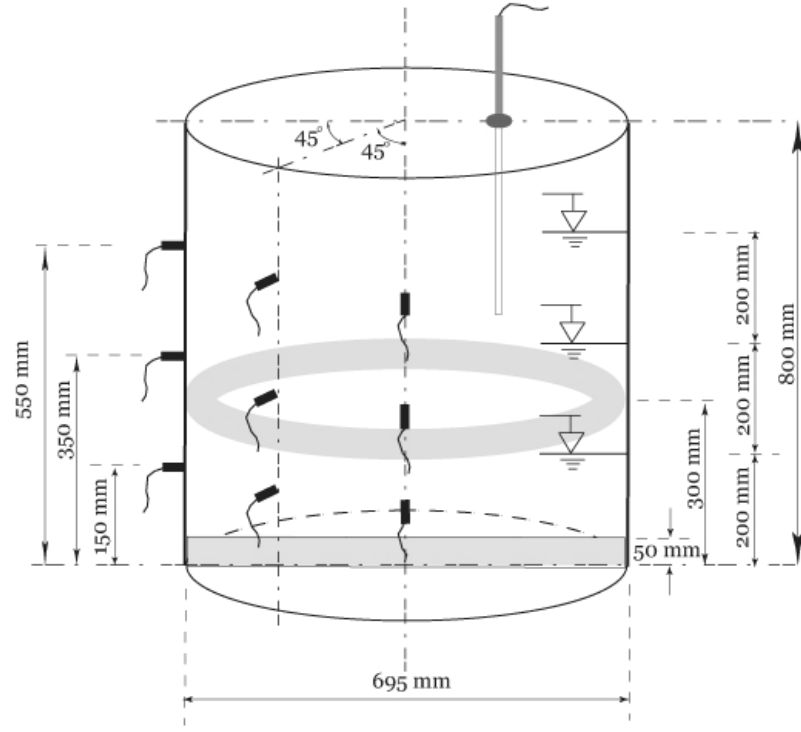
hesaplanmıştır. Perde konfigürasyonları ise perdesiz, taban perdeli, taban ve gövde perdeli, gövde perdeli olmak üzere 4 adet olarak düzenlenmiştir (Şekil 3.4-3.7).



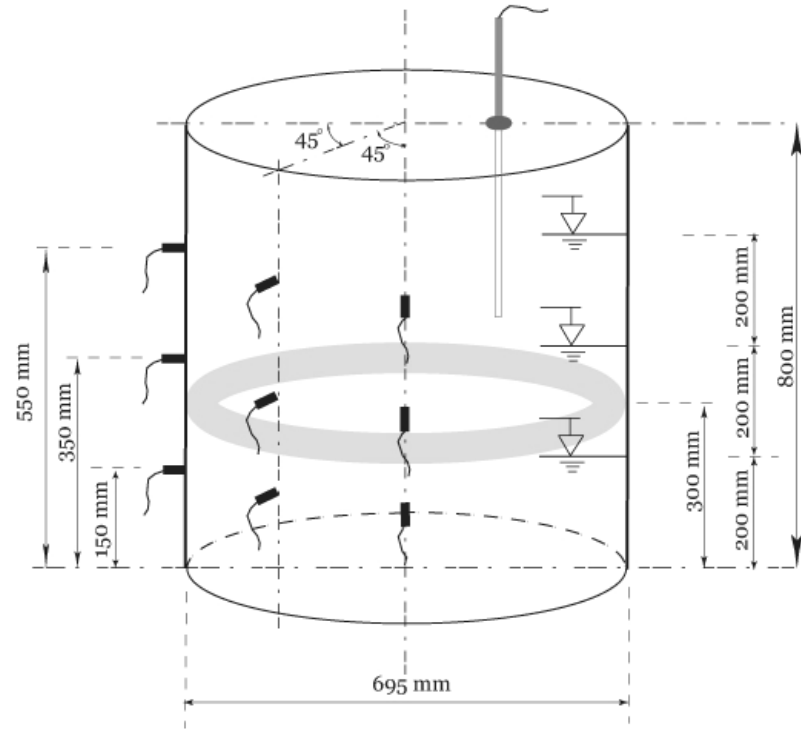
Şekil 3.4 : 1. Durum (Perdesiz)



Şekil 3.5 : 2. Durum (Taban Perdeli)



Şekil 3.6 : 3. Durum (Taban + Gövde Perdeli)



Şekil 3.7 : 4. Durum (Gövde Perdeli)

4. SONUÇLAR

Yapılan deneyler Tablo 4.1 de özet bir şekilde verilmiş olup toplam 164 adet deney yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda elde edilen veriler derlenip bu veriler yardımı ile her bir basınç ölçere ait grafikler çizilmiştir. Bu grafiklerin tamamı tezin sonunda Ek CD'si olarak verilmiş olup Tablo 4.1'in son sütununda hangi deneyin hangi dosya ismi ile Ek CD'sinde kayıtlı olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte Ek A isimli kısımda ise her 4 konfigürasyon için 0.5 r/s ve 1.0 r/s için karşılaştırmalı grafikler verilmiştir.

Tablo 4.1 Yapılan deneyler

Deney No	Doluluk Oranı (%)	Dönme Açısı (Derece)	Perde Konfigürasyon No	Doğal Frekans (r/s)	Frekans Aralığı (r/s)	Ek CD Dosya Adı
1-9	25	4	1. Durum	1.079	0.5-1.2	ST_UB_25D_4d.pdf
10-18	25	8	1. Durum	1.079	0.5-1.2	ST_UB_25D_8d.pdf
19-27	50	4	1. Durum	0.951	0.5-1.2	ST_UB_50D_4d.pdf
28-36	50	8	1. Durum	0.951	0.5-1.2	ST_UB_50D_8d.pdf
37-43	75	4	1. Durum	0.765	0.5-1	ST_UB_75D_4d.pdf
44-50	75	8	1. Durum	0.765	0.5-1	ST_UB_75D_8d.pdf
51-59	25	4	2. Durum	1.079	0.5-1.2	ST_B1_25D_4d.pdf
60-68	25	8	2. Durum	1.079	0.5-1.2	ST_B1_25D_8d.pdf
69-77	50	4	2. Durum	0.951	0.5-1.2	ST_B1_50D_4d.pdf
78-86	50	8	2. Durum	0.951	0.5-1.2	ST_B1_50D_8d.pdf
87-93	75	4	2. Durum	0.765	0.5-1	ST_B1_75D_4d.pdf
94-100	75	8	2. Durum	0.765	0.5-1	ST_B1_75D_8d.pdf
101-108	50	4	3. Durum	0.951	0.5-1.2	ST_B2_50D_4d.pdf
109-117	50	8	3. Durum	0.951	0.5-1.2	ST_B2_50D_8d.pdf
118-124	75	4	3. Durum	0.765	0.5-1	ST_B2_75D_4d.pdf
125-132	75	8	3. Durum	0.765	0.5-1	ST_B2_75D_8d.pdf
133-141	50	4	4. Durum	0.951	0.5-1.2	ST_B3_50D_4d.pdf
142-150	50	8	4. Durum	0.951	0.5-1.2	ST_B3_50D_8d.pdf
151-157	75	4	4. Durum	0.765	0.5-1	ST_B3_75D_4d.pdf
158-164	75	8	4. Durum	0.765	0.5-1	ST_B3_75D_8d.pdf

4.1 1. Durum (Perdesiz)

Perdesiz halde elde edilen veriler incelendiğinde %25 doluluk oranında 5 numaralı basınç ölçerin bütün frekans değerlerinde en yüksek değerleri verdiği görülebilir. Dönme açısı 4°'den 8°'e çıkartıldığında elde edilen basınç karakteristikleri değişmemekle birlikte değer olarak daha büyük basınç değerleri okunmaktadır. Bunun nedeni de hızların artmasından dolayı artan momentum etkileri olarak açıklanabilir.

%50 doluluk oranında ise 150 mm. derinliğinde yine 5 numaralı basınç ölçerlerde maksimum değerler okunurken bir üstteki derinlik olan 350 mm. derinliğinde 2 ve 9 numaralı basınç ölçerler birbirlerine yakın değerler vermektedir. Yine bu derinlikte 7 numaralı basınç ölçer tanka uygulanan kuvvet koluna çok yakın olduğundan kolun uyguladığı titreşimden etkilenmiştir. Bu nedenle 7 numaralı basınç ölçerin verileri bu çalışmada gözardı edilmiştir. Dönme açısı 4°'den 8°'e çıkartıldığında ise yine karakteristiklerde bir değişiklik gözlenmezken değer olarak 8° 'lik dönme açısında daha büyük basınçlar elde edilmiştir.

%75 doluluk oranını incelediğimiz zaman ise 150 mm. derinliğinde 5 numaralı basınç ölçer yine en büyük değerleri vermektedir. 350 mm. derinliğinde ise 2 ve 9 numaralı basınç ölçerler %50 doluluk oranında olduğu gibi birbirlerine yakın basınç değerleri okumuştur. En üst kotumuz olan 550 mm. derinliğinde ise 3 numaralı basınç ölçer diğer iki basınç ölçerden (8 ve 10 numaralı basınç ölçerler) daha büyük değerler almaktadır. Dönme açısı 4°'den 8°'e değiştirildiğinde basınç değerleri büyümekle beraber karakterlerinde bir değişiklik olmamaktadır.

4.2 2. Durum (Taban Perdeli)

%25 doluluk oranı incelendiğinde 5 numaralı basınç ölçerin verdiği değerler, 1. durumda olduğu gibi, en yüksek değerlerdir. Fakat taban perdesi bütün basınç ölçerlerde okunan değerleri 1. Duruma göre azaltmıştır. Dönme açısı 4°'den 8°'e çıkartıldığında yine değerlerde bir artış gözlenmiştir.

%50 doluluk oranında ise 150 mm. derinliğinde 5 numaralı 350 mm. derinliğinde ise 9 numaralı basınç ölçerler kendileriyle aynı derinlikte bulunan basınç ölçerlere göre

daha fazla değerler okumuştur. Burada dikkati çeken en önemli konu ise 1. Durumda 2 ve 9 numaralı basınç ölçerler birbirlerine yakın değerler verirken, 2. Durumda 9 numaralı basınç ölçer 2 numaralı basınç ölçere göre daha büyük değerler vermektedir. Dönme açısı 4°'den 8°'e çıkartıldığında basınç değerleri artmıştır.

%75 doluluk oranına baktığımızda dönme açısı 4° iken doğal frekansa kadar 150 mm. derinliğinde 5 numaralı, 350 mm. derinliğinde 9 numaralı ve de 550 mm. derinliğinde ise 3 numaralı basınç ölçerlerin en yüksek değeri verdiği gözlenirken doğal frekanstan sonra ve 8° dönme açısının tüm frekanslarında 550 mm. derinliğindeki basınç ölçerlerin tamamı aynı değerleri vermektedir. Basıncın bu şekilde homojen dağılması perdeden dolayı yüzey çalkantısının artması ile açıklanabilir.

4.3 3. Durum (Taban ve Gövde Perdeli)

Bu konfigürasyonda %25 doluluk oranında 2. durum ile aynı düzenek olduğundan okuma alınmamıştır.

%50 doluluk oranı incelendiğinde 150 mm. derinliğinde 5 numaralı basınç ölçer, 350 mm. derinliğinde ise 9 numaralı basınç ölçerin en yüksek değerleri verdiği gözlenmiştir.

%75 doluluk oranında ise benzer şekilde 150 mm. derinliğinde 5 numaralı basınç ölçer, 350 mm. derinliğinde ise 9 numaralı basınç ölçerin en büyük değerleri verdiği görülmüştür. 550 mm. derinliği incelendiğinde ise hem 4° dönme açısında hem de 8° dönem açısında döneme frekansının 0.5 r/s değeri dışındaki bütün değerlerinde homojen bir basınç dağılımı gözlenmiştir.

4.4 4. Durum (Gövde Perdeli)

Bu konfigürasyonda %25 doluluk oranı 1. durumla aynı olduğundan ölçüm alınmamıştır.

%50 doluluk oranında ise diğer konfigürasyonlardan farklı olarak 150 mm. derinliğinde 1 numaralı basınç ölçer, 350 mm. derinliğinde ise 2 numaralı basınç

ölçerin hem 4° dönme açısında hem de 8° dönem açısında en yüksek değerleri verdiği gözlenmiştir.

%75 doluluk oranında ise 150 mm. derinliğinde 1 ve 5 numaralı basınç ölçerlerin, 350 mm. derinliğinde ise 2 ve 9 numaralı basınç ölçerlerin birbirlerine yakın değerler verdiği gözlenmiştir. 550 mm. derinliğine bakıldığında ise homojen bir dağılım verdiği tespit edilmiştir.

4.5 Boyutsuz Basınç Katsayıları

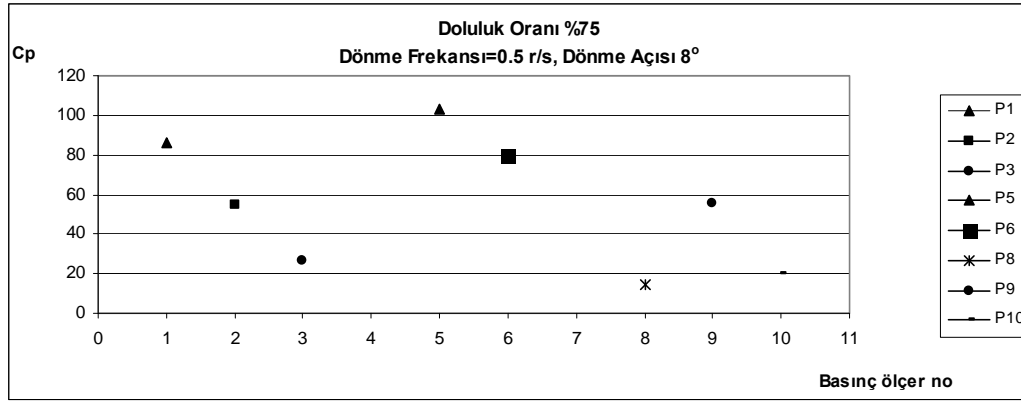
Yapılan deneylerde hangi değişkenin daha etkili olduğunu anlayabilmek için ve farklı değişkenler arasında bir bağıntı kurabilmek için 4.1'de verilen bağıntı yardımı ile okunan basınç değerleri boyutsuz hale getirilmiştir.

$$C_p = \frac{P_{\max}}{\rho g \frac{H}{2}} \quad (4.1)$$

Denklemden C_p , boyutsuz basınç katsayısını; P_{\max} , deneylerde okunan maksimum basınç değerlerini; ρ , suyun özgül kütleini; g , yerçekimi ivmesini ve H ise çalkantıdan dolayı yüzeyde oluşan dalga yüksekliğini göstermektedir.

Bu denkleme göre C_p değerleri hesaplanmış olup, EK B'de bu değerler toplu bir şekilde verilmiştir.

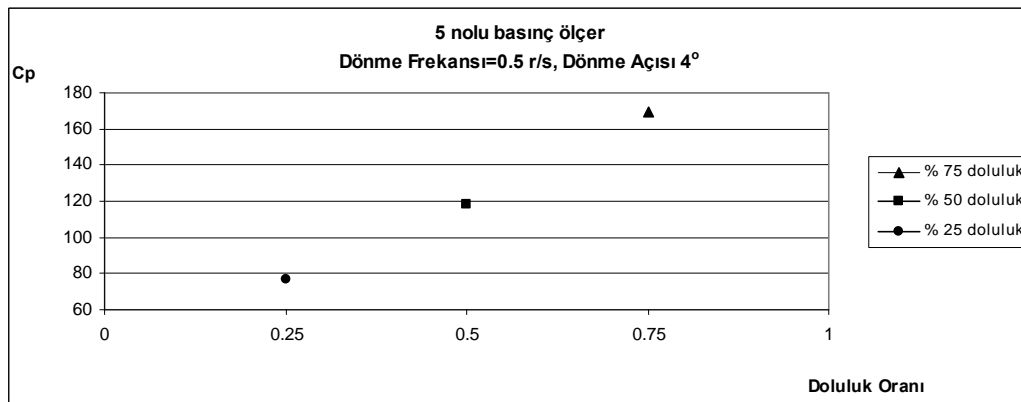
1. Durum (perdesiz) konfigürasyon için %75 doluluk oranı, 0.5 r/s dönme frekansı ve 8° dönme açısı için bütün basınç noktalarında ölçülen maksimum basınçlar kullanılarak hesaplanan C_p değerleri (Şekil B.1-B.2) yardımıyla Şekil 4.1'deki grafik çizilmiştir. Bu grafik incelendiğinde 5 numaralı basınç ölçerinin en büyük C_p değerine sahip olduğu görülmektedir.



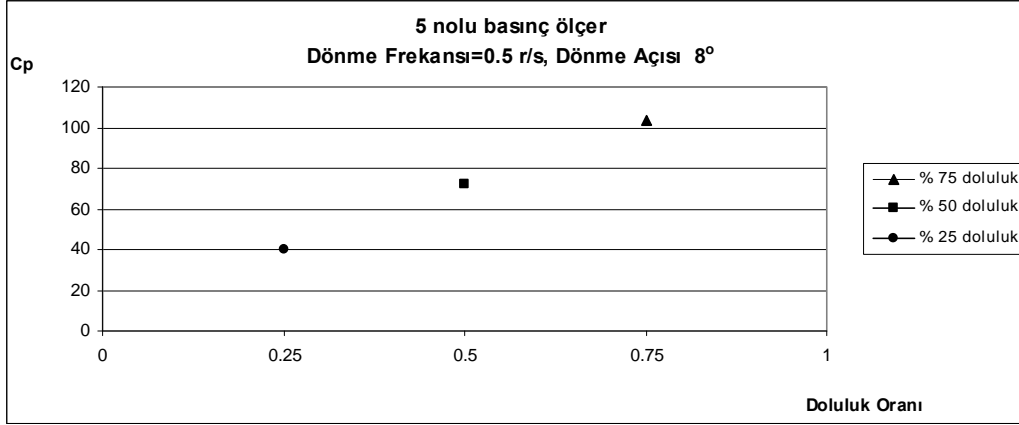
Şekil 4.1 : Maksimum basınçlar için Cp değerleri [1. Durum (perdesiz), Doluluk oranı %75, Dönme açısı 8°, Dönme Frekansı 0.5 r/s]

Bu basınç ölçer konumu itibarı ile yüksek statik basınç değerlerine sahip olup, aynı kotta bulunan 1 ve 6 numaralı basınç ölçerlerden daha fazla dinamik basınç altında olduğu bu grafiğe göre söylenebilmektedir.

Şekil 4.2 1.durum (perdesiz) için 5 nolu basınç ölçerde derinliğin değişimine göre 4° dönme açısında maksimum basınçlar gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde derinliğin her %25 artışı için basınçlar yaklaşık %50 oranında artmaktadır. Buradan da derinlik değişimi ile boyutsuz basınç parametresi arasında doğrusal bir bağıntı olduğu görülmüştür.



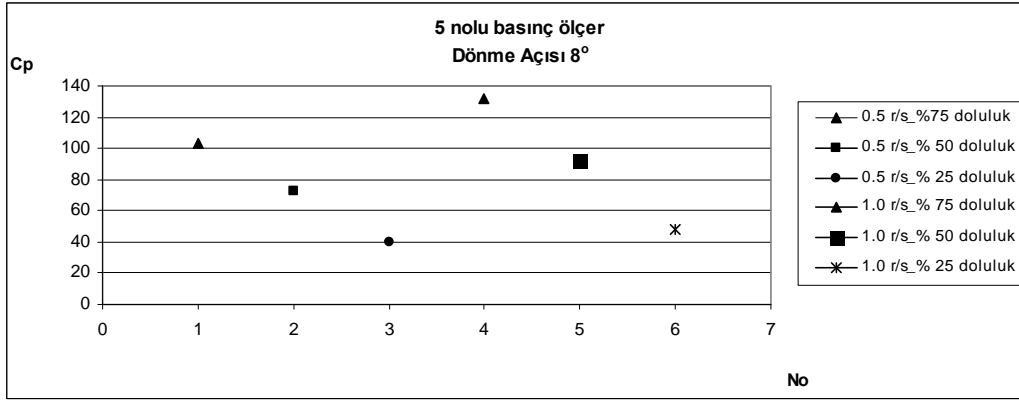
Şekil 4.2 : 5 numaralı basınç ölçerde doluluk oranının değişimine göre Cp değerleri



Şekil 4.3 : 5 numaralı basınç ölçerde doluluk oranının değişimine göre Cp değerleri

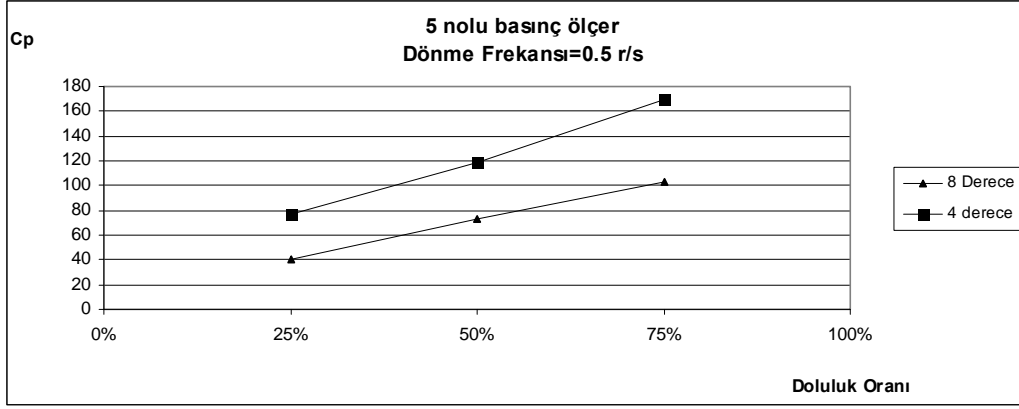
Dönme açısı 4°'den 8°'ye çıkartıldığında (Şekil 4.2) 4°'de gözlenen doğrusallık 8°'de de elde edilmiştir.

Dönme frekansının 0.5 r/s'den 1.0 r/s çıkması durumunda 5 numaralı basınç ölçerde Cp değerleri %30 civarında artmaktadır (Şekil 4.4). Bu da atalet kuvvetlerinin sistem üzerindeki etkisi olarak açıklanabilir.



Şekil 4.4 : 5 numaralı basınç ölçerde frekans değişimine göre Cp değerleri

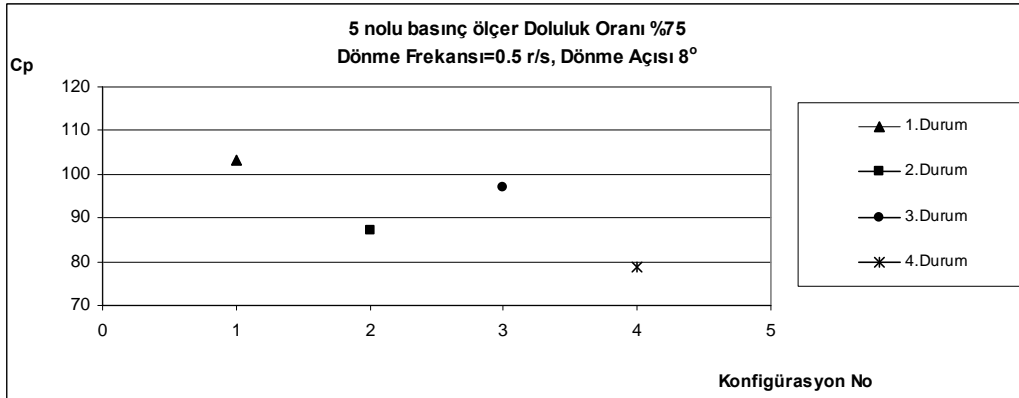
Şekil 4.5'de ise açı değişiminin etkisi verilmiştir. Dönme açısının 4° den 8°'ye düşürülmesi sonucunda atalet etkilerinin artmasına bağlı olarak Cp değerleri yaklaşık %75 artmaktadır.



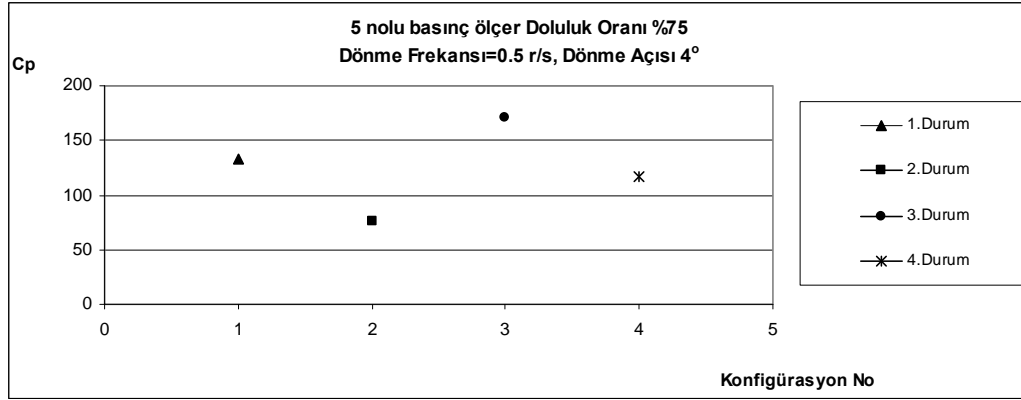
Şekil 4.5 5 numaralı basınç ölçerde dönme açısı değişimine göre Cp değerleri

Kurulan bu deney düzeneğinde Cp değerleri değişimleri incelendiğinde en etkili parametrenin açı değişimi olduğu görülmektedir. Açıdaki değişim diğer değişimlere oranla sistemi daha fazla etkilemekle beraber dönme frekansındaki değişim de önemli bir etki göstermektedir.

Kullanılan perde sistemlerinin etkilerini incelemek için Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'deki grafikler verilmiştir. Bu grafiklerde % 75 doluluk için 5 numaralı basınç ölçerde okunan maksimum basınç değerlerinden kullanılarak hesaplanan Cp değerleri verilmektedir. Grafikleri incelediğimizde 2. ve 4. durumdaki konfigürasyonlar (gövde perdesinin kullanıldığı konfigürasyonlar) 1. duruma göre basınç değerlerini düşürmüştür. Buradan da yüzey çalkantısına daha yakın olan perde sistemlerinin tabandakilerine oranla daha etkili olacağı sonucu çıkartılabilir.



Şekil 4.6 : 5 numaralı basınç ölçerde konfigürasyona göre Cp değerleri



Şekil 4.7 : 5 numaralı basınç ölçerde konfigürasyona göre Cp değerleri

4.6 Öneriler

Elde edilen bütün veriler ışığında hangi kesitte hangi konfigürasyonun etkili olduğu Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’de özetlenmiştir.

Genel olarak sadece gövde perdesi kullanılan 4. durumun diğer durumlara göre basınçları azalttığı söylenebilmek mümkündür. Bununla beraber özel frekanslar ve özel kesitler için 2. ve 3. durumlarda da iyileşme sağlanmıştır.

Tablo 4.2: Düşük frekans değerleri için önerilen konfigürasyonlar

Düşük frekanslarda etkili olan konfigürasyon			
Derinlik (mm.)	DOLULUK ORANI (%)		
	25	50	75
550	-	-	4
350	-	2-4*	2-4*
150	2	4	4

* 2 nolu basınç ölçerde 2. durum, 9 nolu basınç ölçerde 4. durum daha etkili olmuştur.

Tablo 4.3: Yüksek frekans değerleri için önerilen konfigürasyonlar

Yüksek frekanslarda etkili olan konfigürasyon			
Derinlik (mm.)	DOLULUK ORANI (%)		
	25	50	75
550	-	-	4**
350	-	2-4*	2-4*
150	2	3-4	4

* 2 nolu basınç ölçerde 2. durum, 9 nolu basınç ölçerde 4. durum daha etkili olmuştur.

** Yüksek frekanslarda çalkantı çok arttığından net bir sonuca varılamadı.

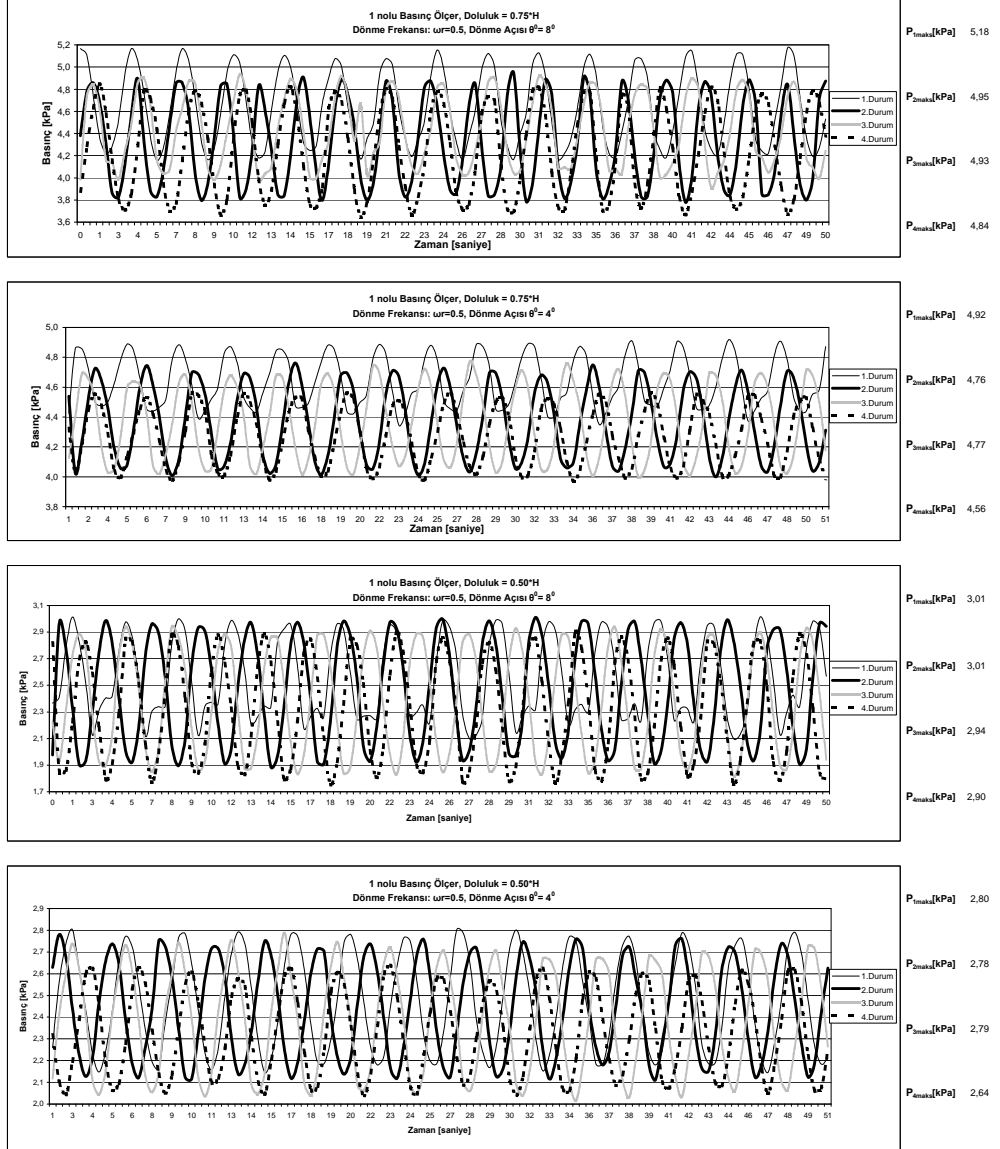
KAYNAKLAR

- Abramson, H.N.**, 1966. Dynamic Behavior of Liquids in Moving Containers with Application to Space Vehicle Technology, *NASA-SP-106*.
- Akyıldız, H. and Çelebi, M.S.**, 2001. Numerical Computation of Pressure in a Rigid Rectangular Tank Due To Large Amplitude Liquid Sloshing, *Turkish J. of Eng. and Env. Sciences*, **Vol 25, No 6**.
- Akyıldız, H. and Ünal, E.**, 2005. Experimental investigation of Pressure Distribution on a Rectangular Tank Due to the Liquid Sloshing, *Ocean Engineering*, **32**, 1503-1516.
- Akyıldız, H. and Ünal, E.**, 2006. Sloshing in a three-dimensional rectangular tank: Numerical simulation and experimental validation, *Ocean Engineering*, **33**, 2135-2149.
- Anderson, J.G., Turan, Ö.F., Semercigil, S.E.**, 2001. Experiments to Control Sloshing in Cylindrical Containers, *Journal of Sound and Vibration*, **240(2)**, 398-404.
- Çelebi, M.S., and Akyıldız, H.**, 2002. Nonlinear Modelling of Liquid Sloshing in a Moving Rectangular Tank, *Ocean Engineering*, **29**, 1527-1553.
- Faraday, M.**, 1831. On the Forms and States of Fluids on Vibrating Elastic Surfaces. *Philos. Trans. Roy. Soc. London*, **52**, 319-340.
- Feschenko, S.F., Lukovsky, I.A., Rabinovich, B.I., Dokuchaev, L.V.**, 1969. The Methods for Determining the Added Fluid Masses in Mobile Cavities. Naukova Dumka, Kiev.
- Gavrilyuk, I.P., Lukovsky, I.A., Timokha, A.N.**, 2005. Linear and Nonlinear Sloshing in a Circular Conical Tank, *Fluid Dynamics Research*, **37**, 399-429.
- Haroun, M.A.**, 1983. Vibration Studies and Test of Liquid Storage Tanks, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **11**, 179-206.

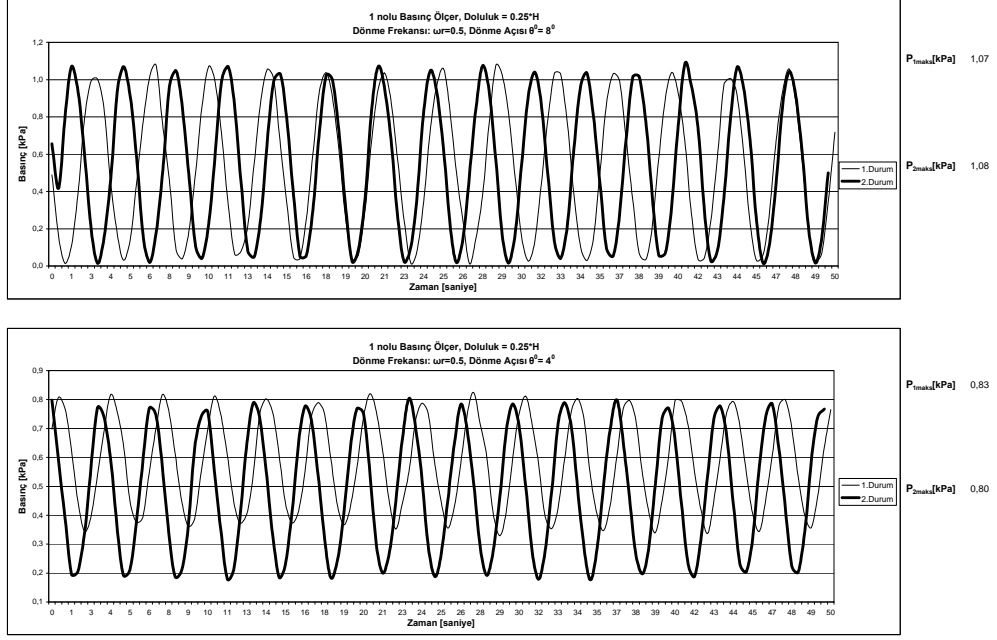
- Housner, G.W.**, 1963, Dynamic Behavior of Water Tanks, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **53**, 381–387.
- Kim, N.S., Lee, D.G.** 1995. Pseudo-Dynamic Test for Evaluation of Seismic Performance of Base-Isolated Liquid Storage Tanks, *Engineering Structures*, **17 (3)**, 198–208.
- Kim, Y.H., Nam, B.W., Kim, D.W., Kim, Y.S.** 2007. Study on Coupling Effects of Ship Motion and Sloshing, *Ocean Engineering*, doi:10.1016/j.oceaneng.2007.03.008.
- Rabinovich, B.I.**, 1975. Introduction to Dynamics of Spacecraft. Mashinostroenie, Moscow.
- Rosenblueth, E., Newmark, N.M.**, 1971, Fundamentals of Earthquake Engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Sames, P.C., Marcouly, D. and Schellin, T.E.**, 2002. Sloshing in Rectangular and Cylindrical Tanks, *Journal of Ship Research*, **Vol 46, No.3**, 186-200.
- Sames, P.C. and Schellin, T.E.**, 1996. Rechnerische Erfassung der Wirkung Hydrodynamischer Stossvorgänge, *Entwicklungen in der Schiffstechnik: Statusseminar 1996*, BMBF-Projektträger Schiffstechnik, Ed., Verlag TÜV Rheinland, Köln.
- Schumann, C.**, 1998. Calculation of the Motion of Liquid in a Cargo Tank, *Ship Technology Research*, **45**, 39-46.
- Shrimali, M.K., Jangid, R.S.**, 2004. Seismic Analysis of Base-Isolated Liquid Storage Tanks, *Journal of Sound and Vibration*, **275**, 59-75.
- Warnitchai, P. and Pinkaew, T.**, 1998. Modelling of Liquid Sloshing in Rectangular Tanks with Flow-Dampening Devices. *Engineering Structures*, **20**, 593-600.

EKLER

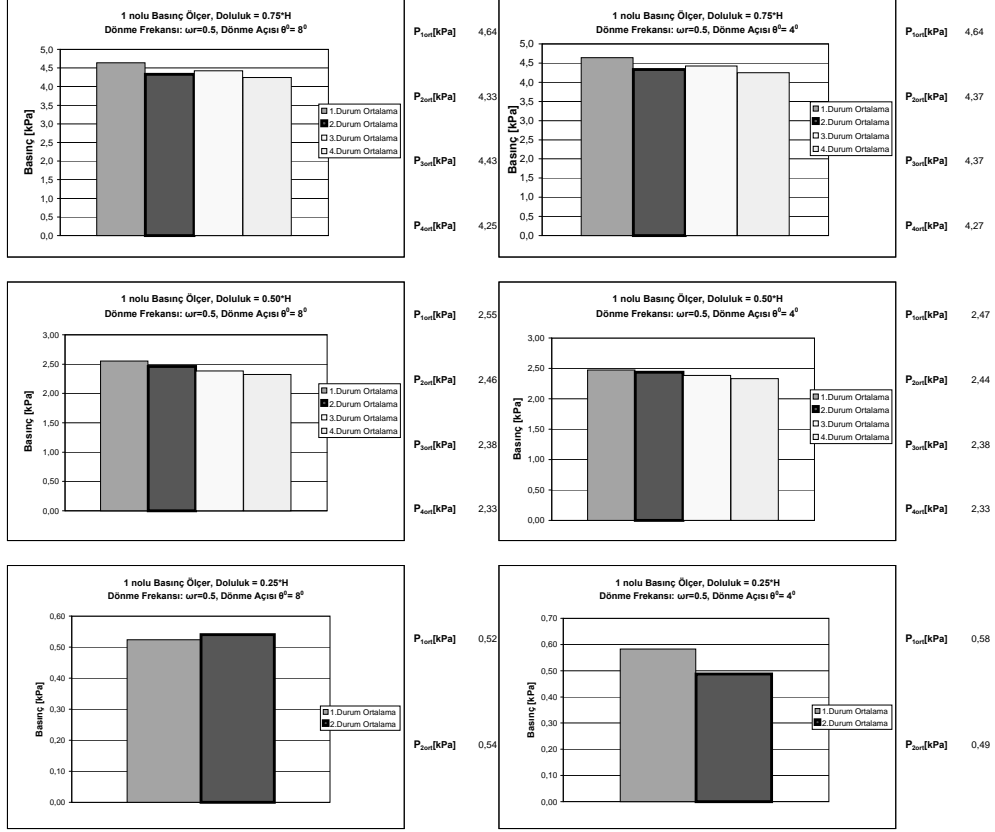
EK - A Basınç Ölçerlere Ait Karşılaştırmalı Grafikler



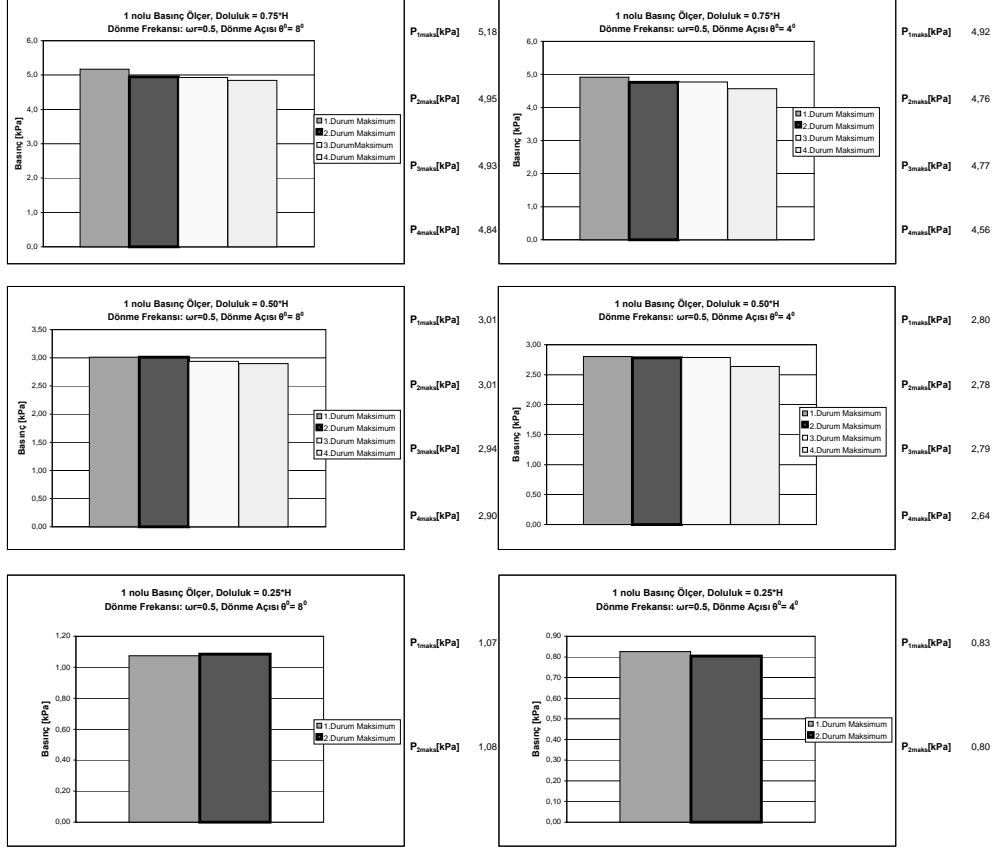
Şekil A.1-a : Dönme frekansı 0.5 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki değişim



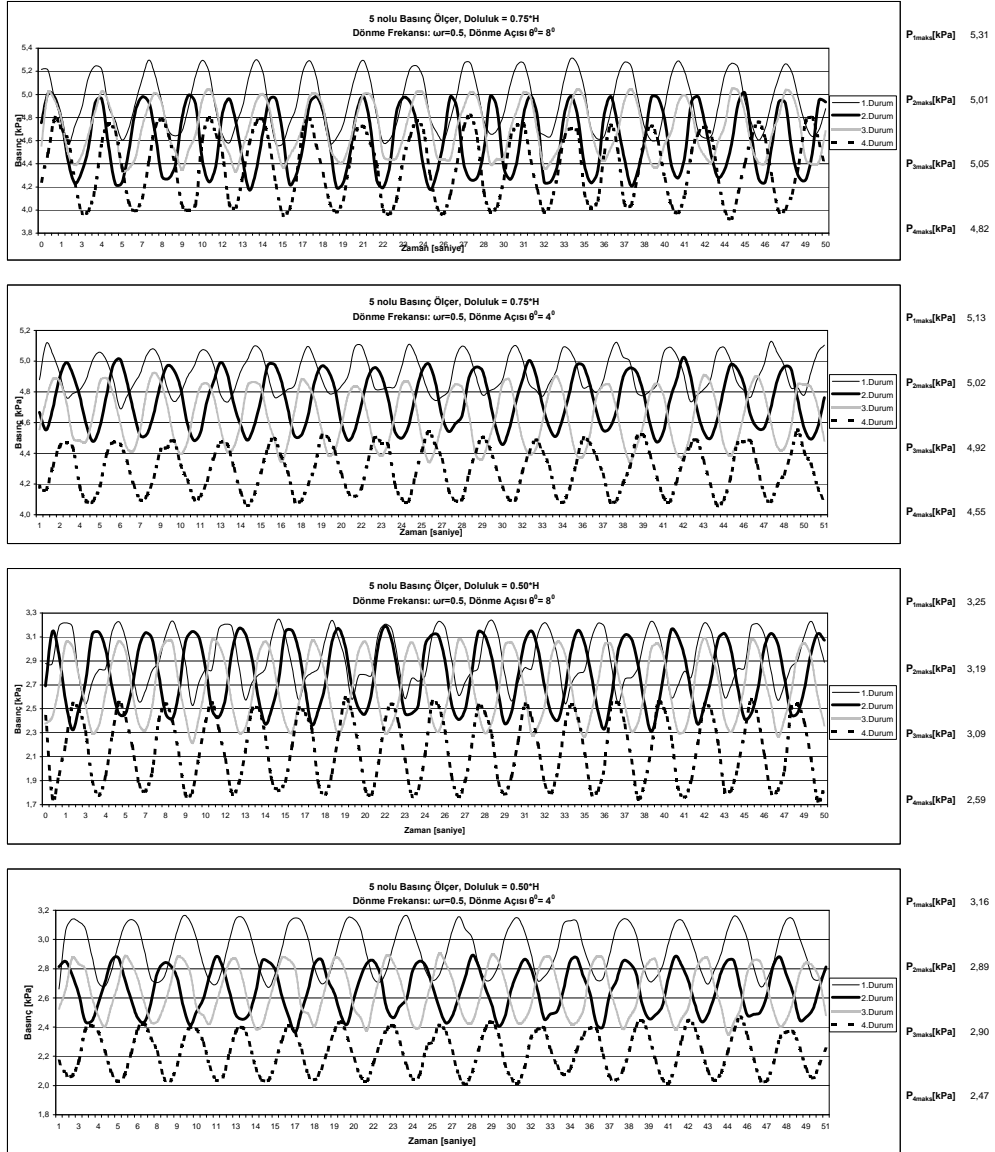
Şekil A.1-b : Dönme frekansı 0.5 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki değişim



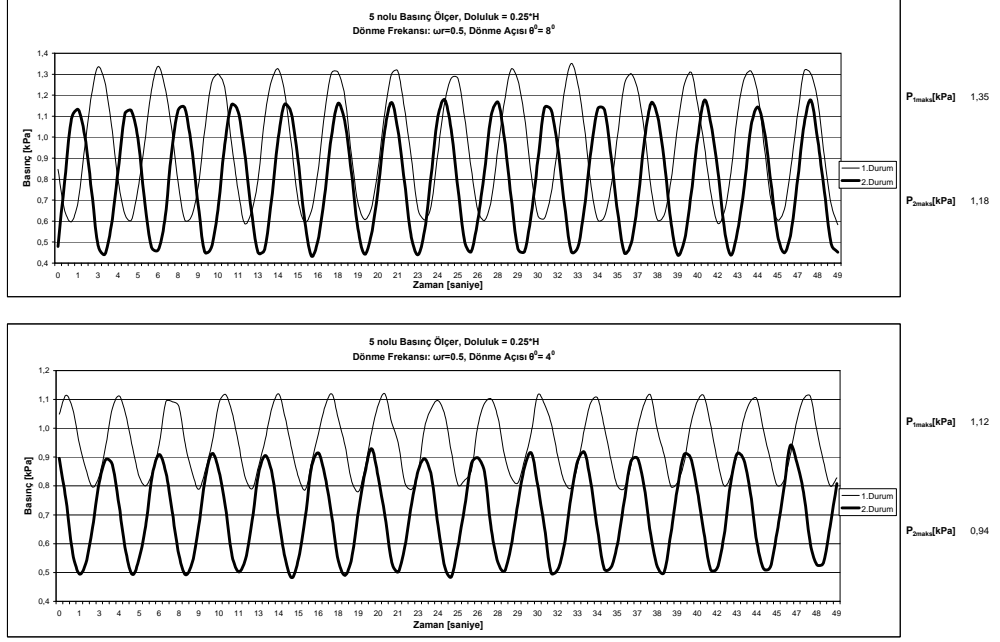
Şekil A.2-a : Dönme frekansı 0.5 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki ortalama basınç değerleri



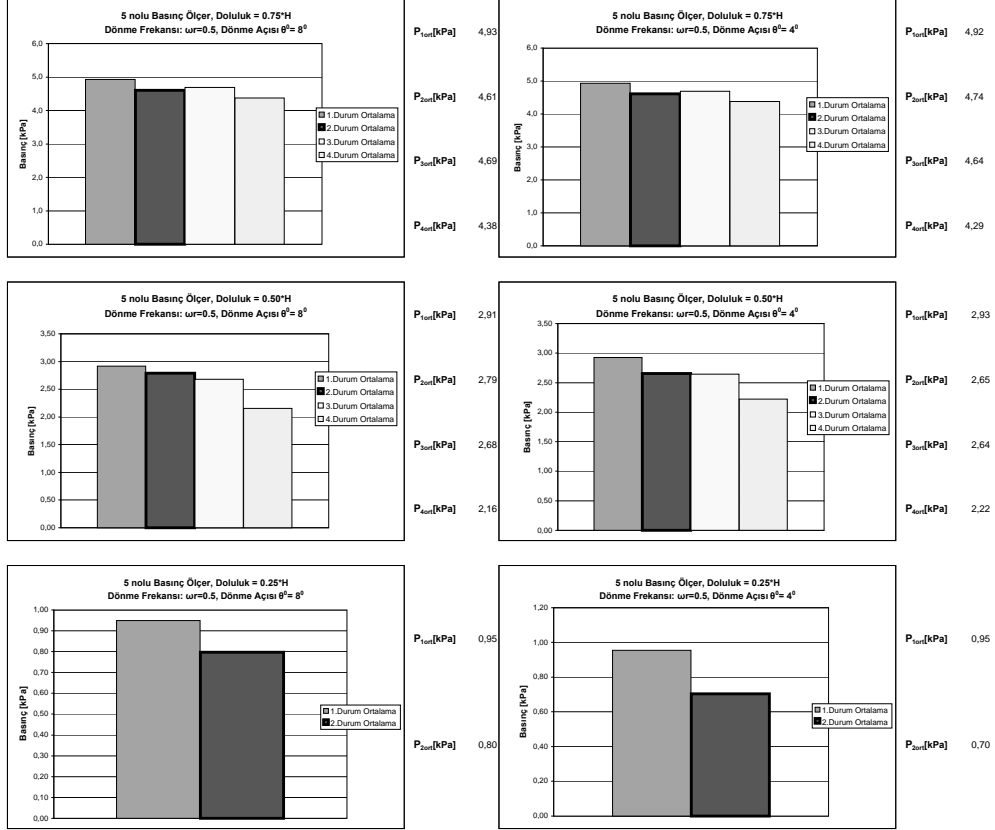
Şekil A.2-b : Dönme frekansı 0.5 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki maksimum basınç değerleri



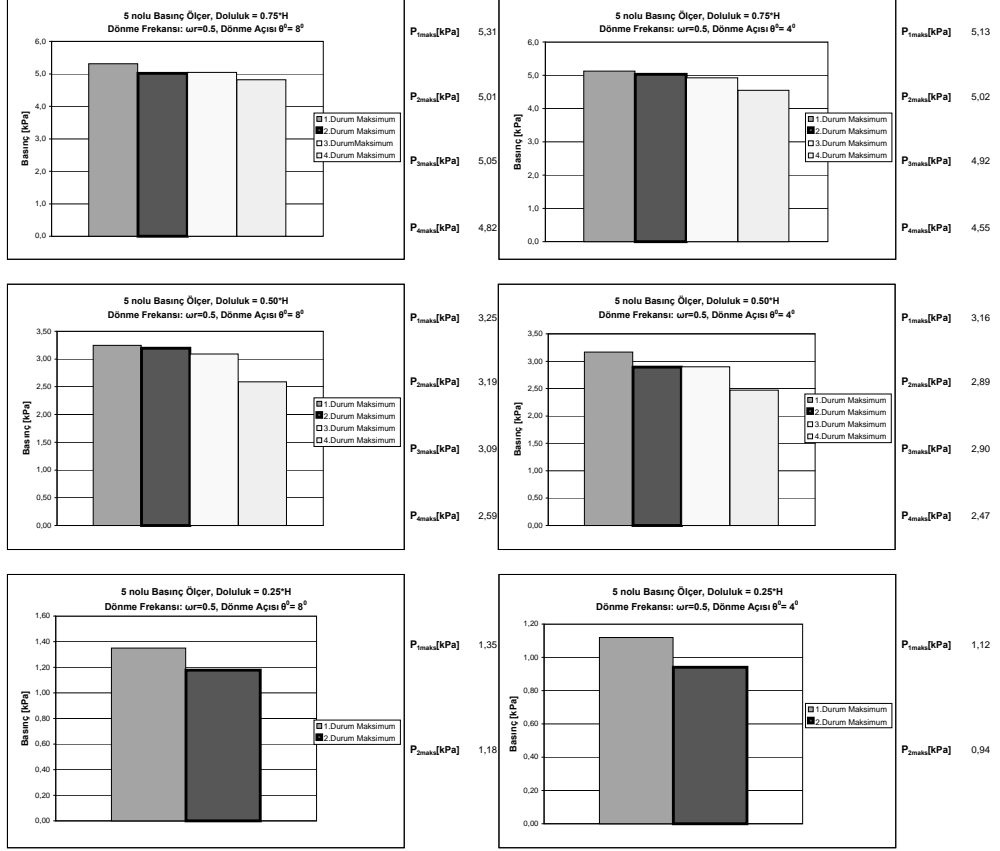
Şekil A.1-a : Dönme frekansı 0.5 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki değişim



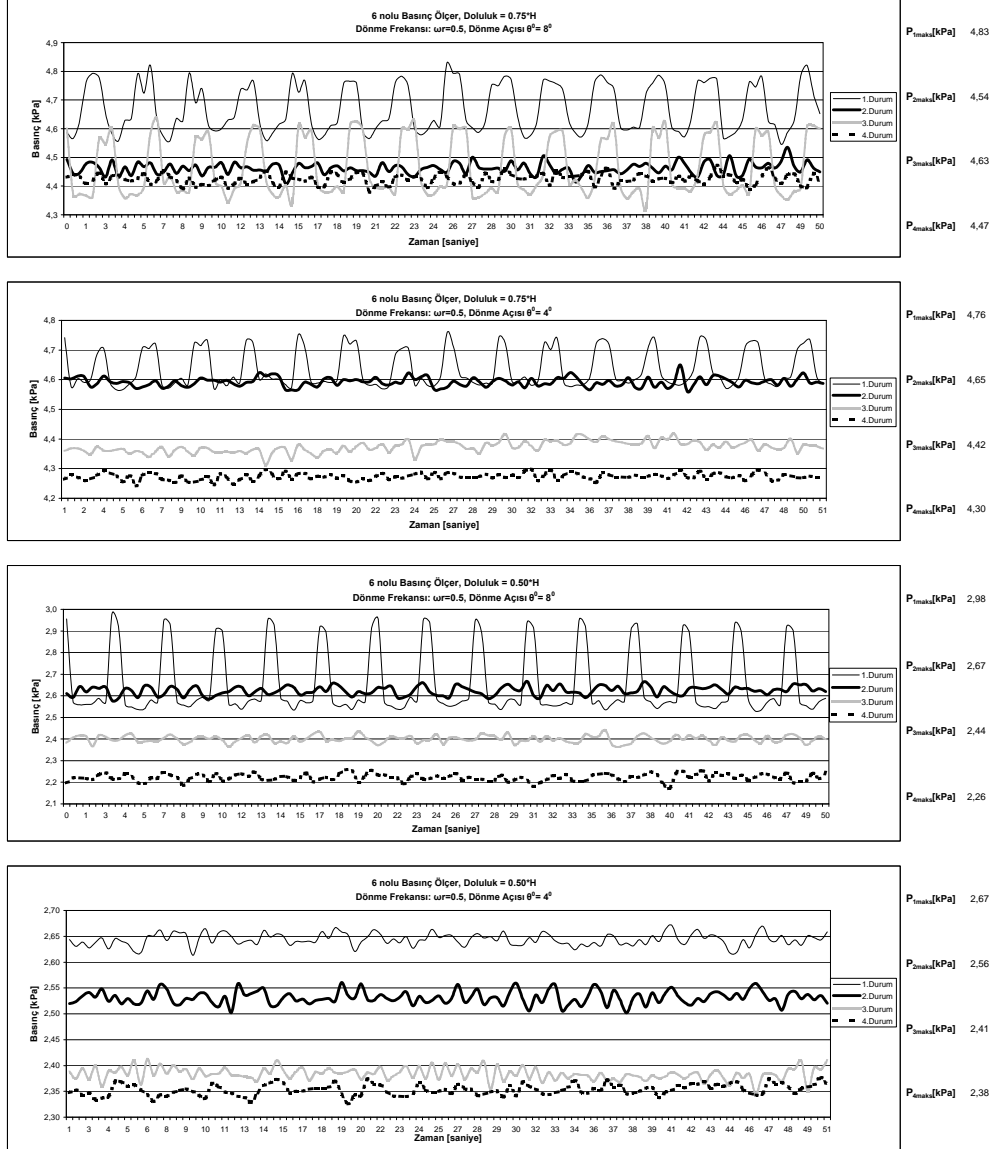
Şekil A.3-b : Dönme frekansı 0.5 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki değişim



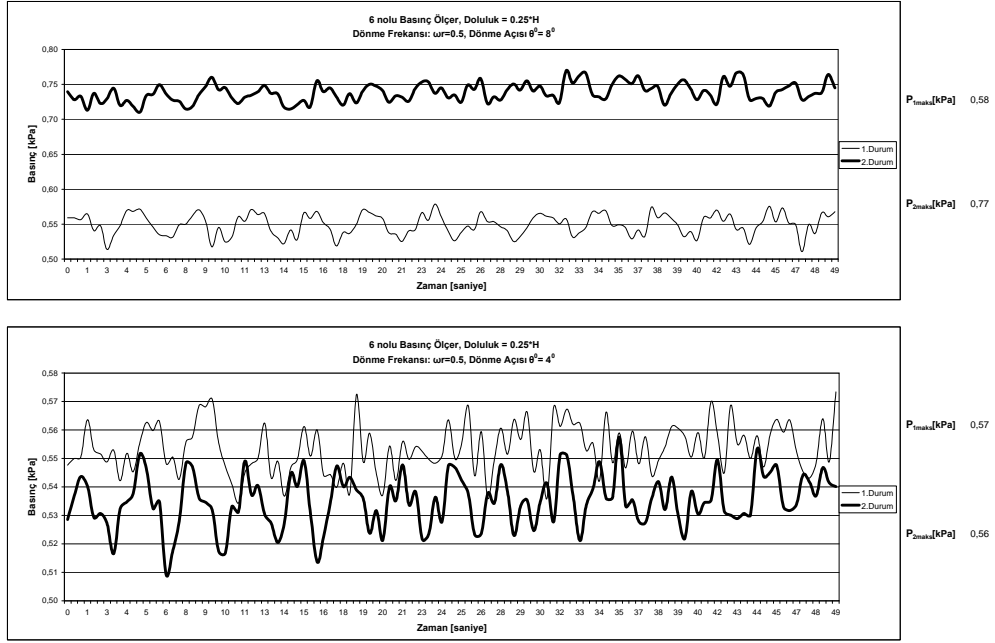
Şekil A.2-a : Dönme frekansı 0.5 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki ortalama basınç değerleri



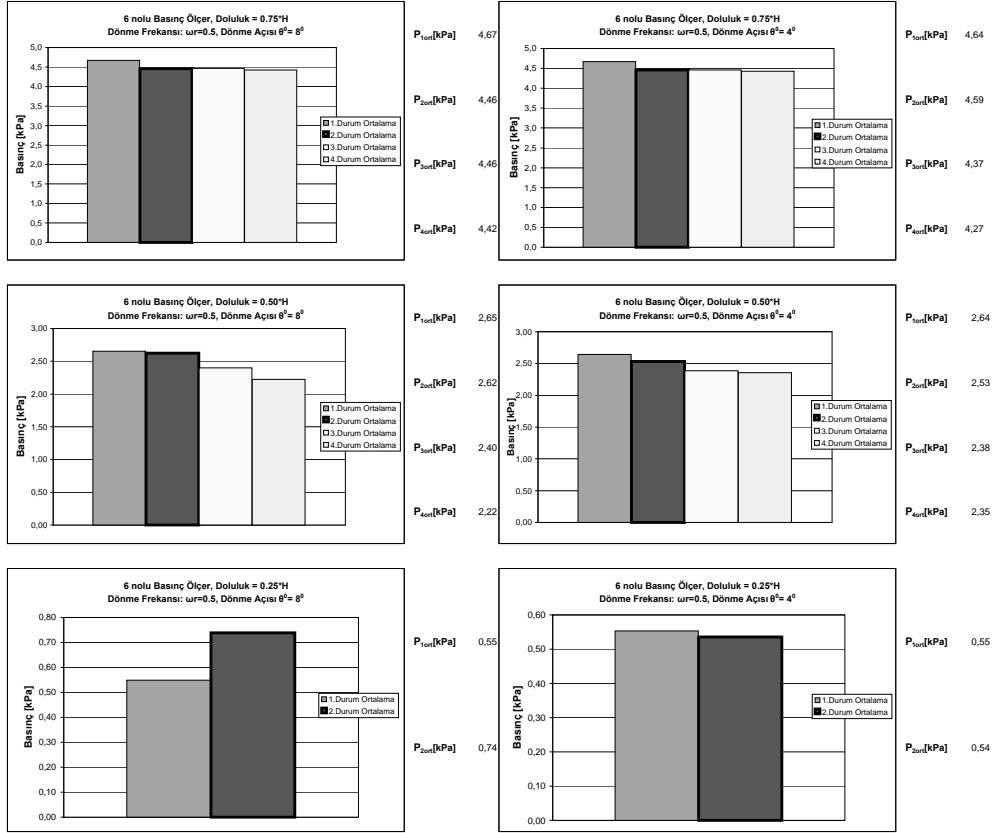
Şekil A.4-b : Dönme frekansı 0.5 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki maksimum basınç değerleri



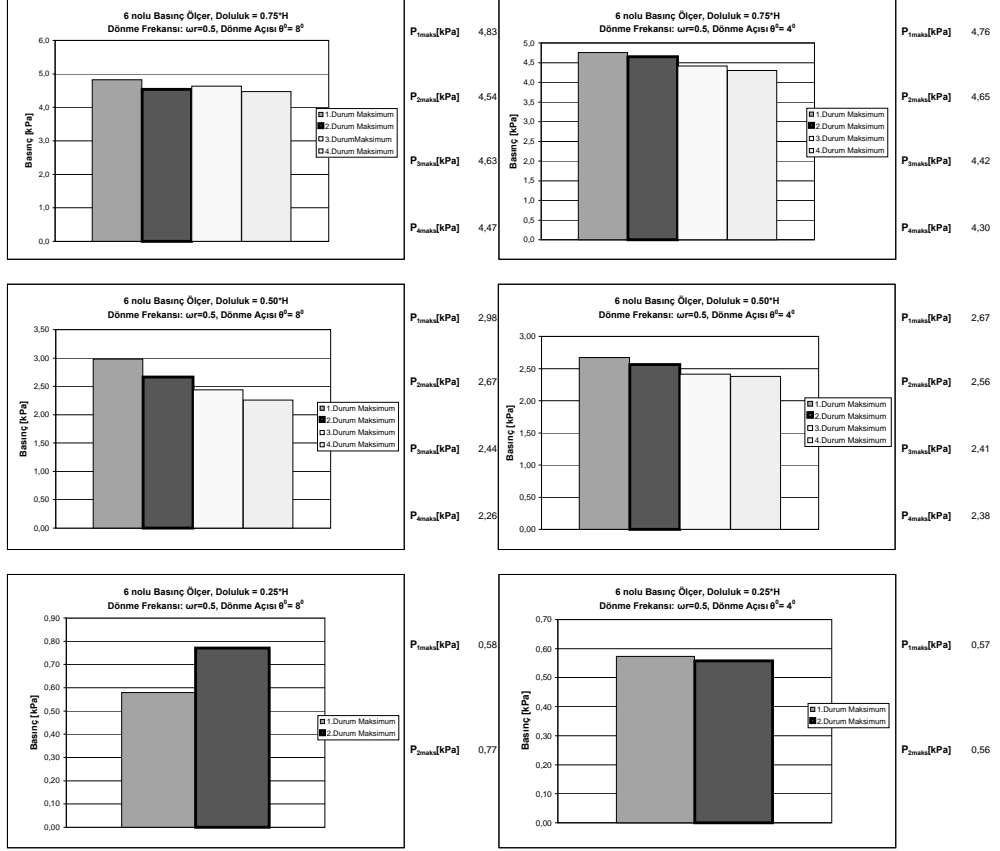
Şekil A.1-a : Dönme frekansı 0.5 r/s için 6 nolu basınç ölçerdeki değişim



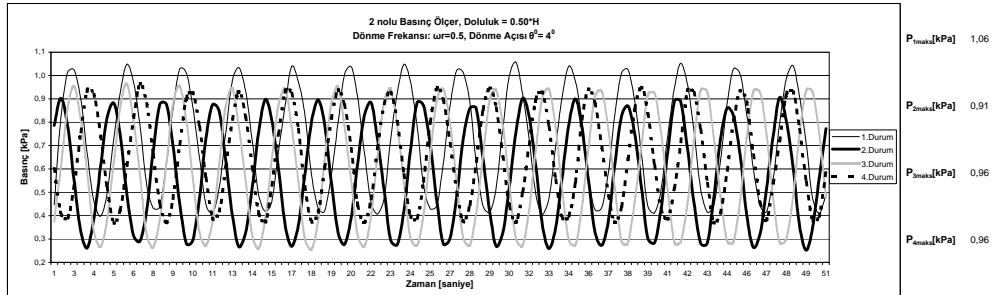
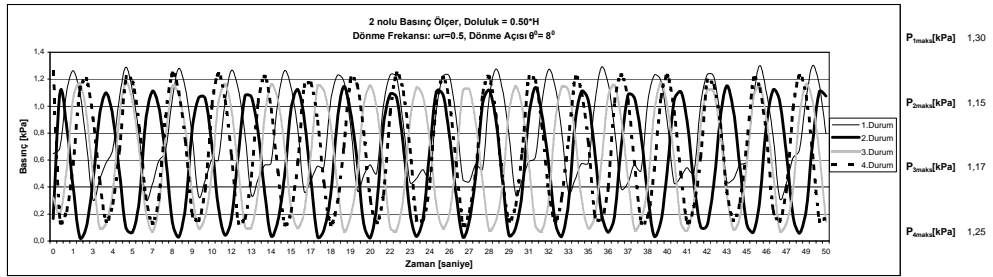
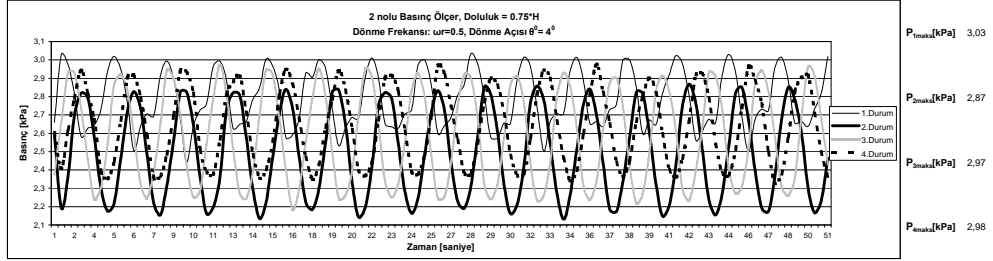
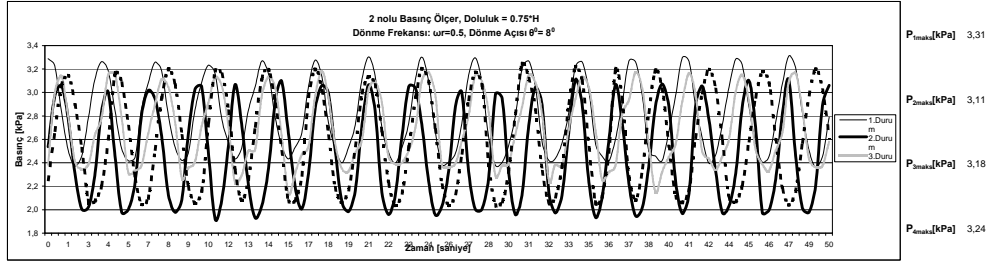
Şekil A.5-b : Dönme frekansı 0.5 r/s için 6 nolu basınç ölçerdeki değişim



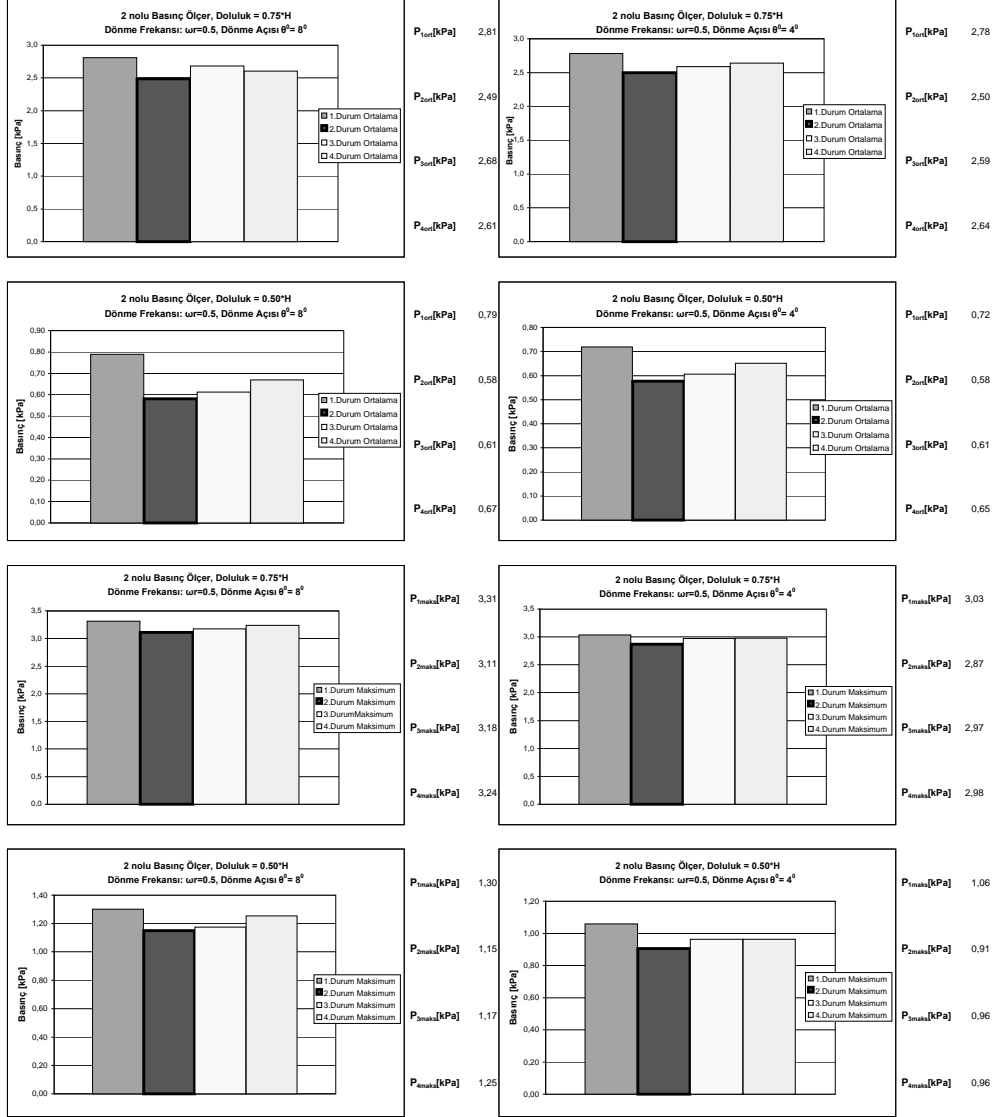
Şekil A.2-a : Dönme frekansı 0.5 r/s için 6 nolu basınç ölçerdeki ortalama basınç değerleri



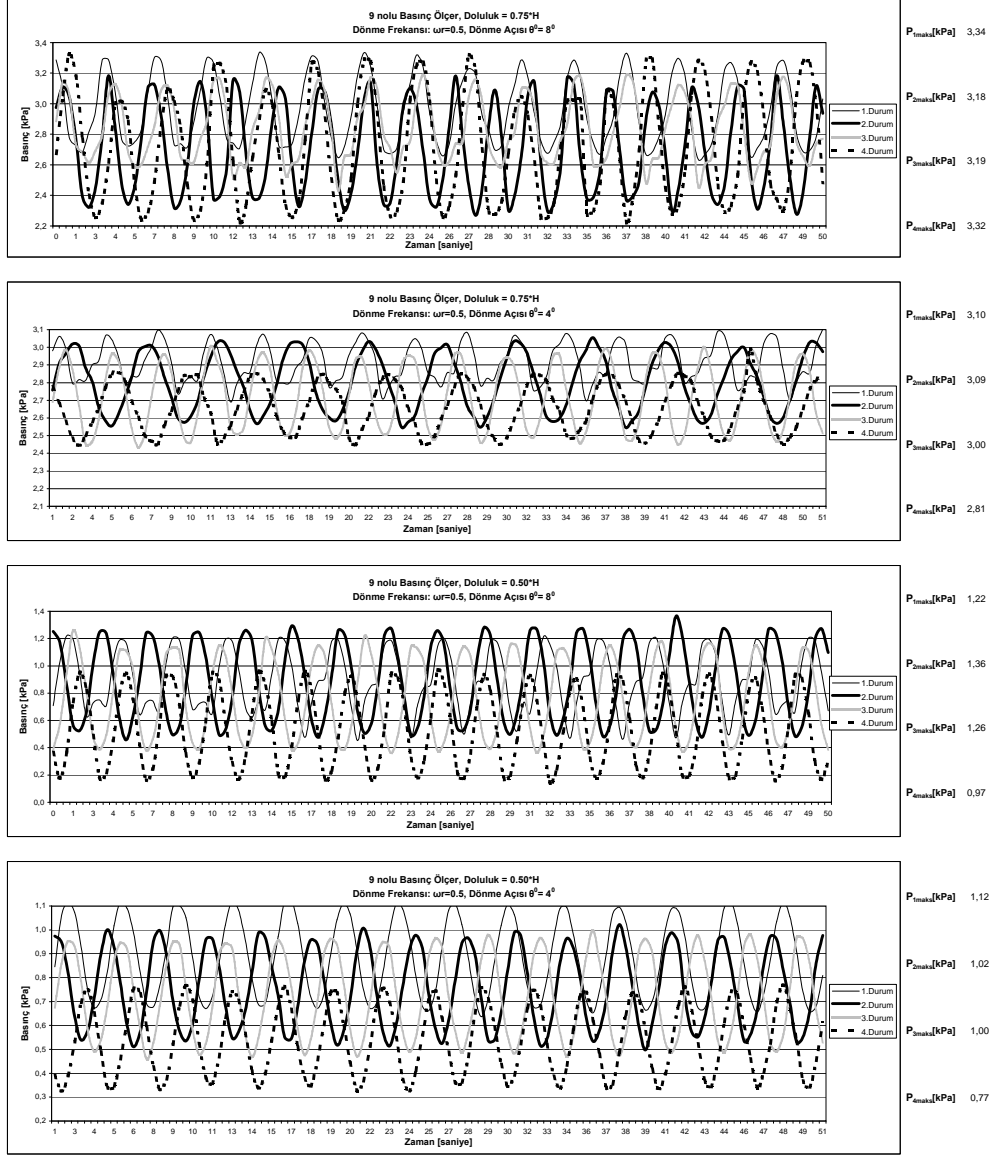
Şekil A.6-b : Dönme frekansı 0.5 r/s için 6 nolu basınç ölçerdeki maksimum basınç değerleri



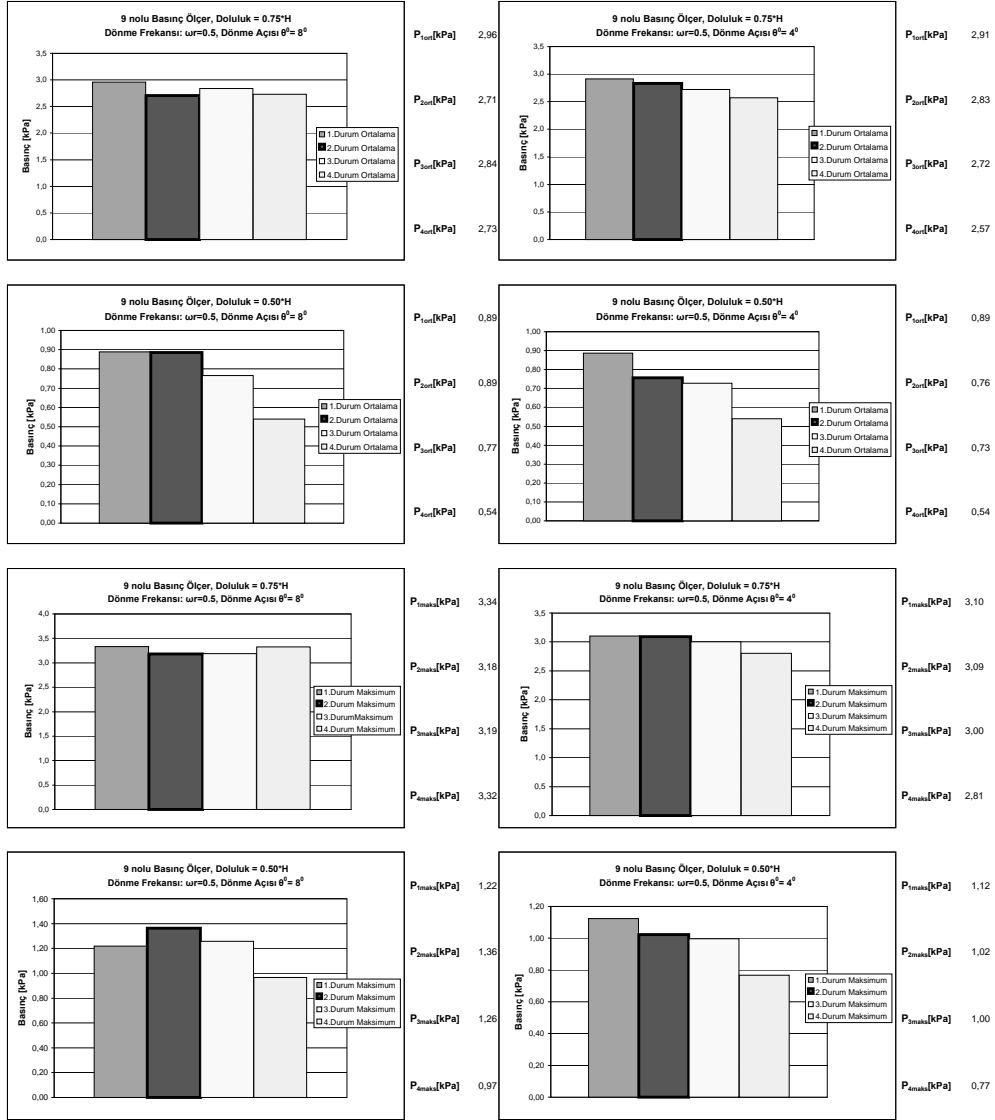
Şekil A.7 : Dönme frekansı 0.5 r/s için 2 nolu basınç ölçerdeki değişim



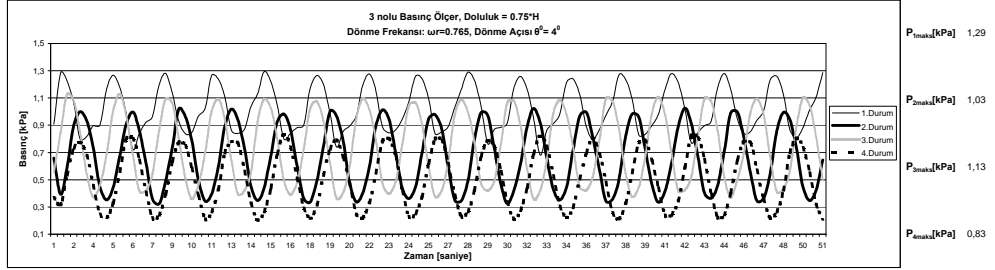
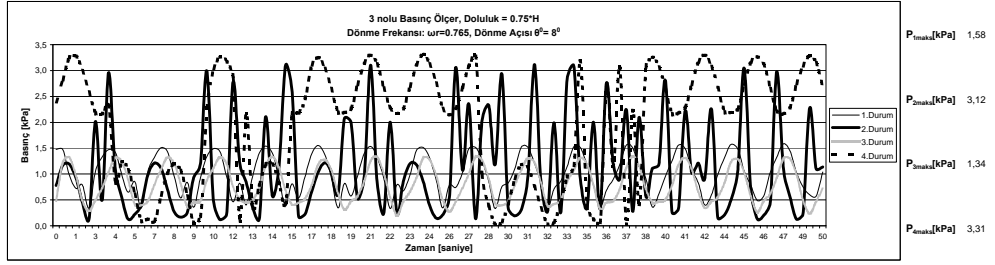
Şekil A.8 : Dönme frekansı 0.5 r/s için 2 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri



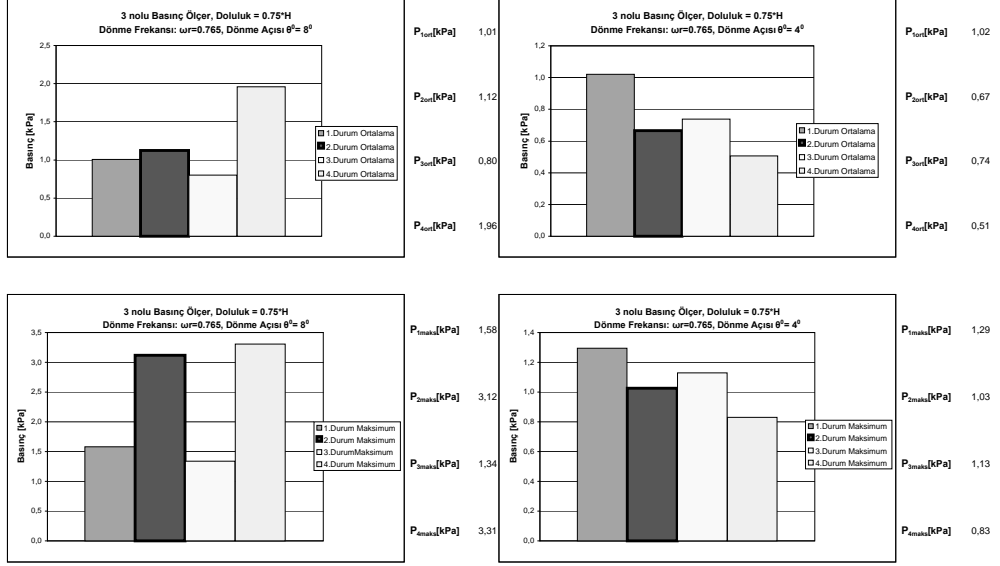
Şekil A.9 : Dönme frekansı 0.5 r/s için 9 nolu basınç ölçerdeki değişim



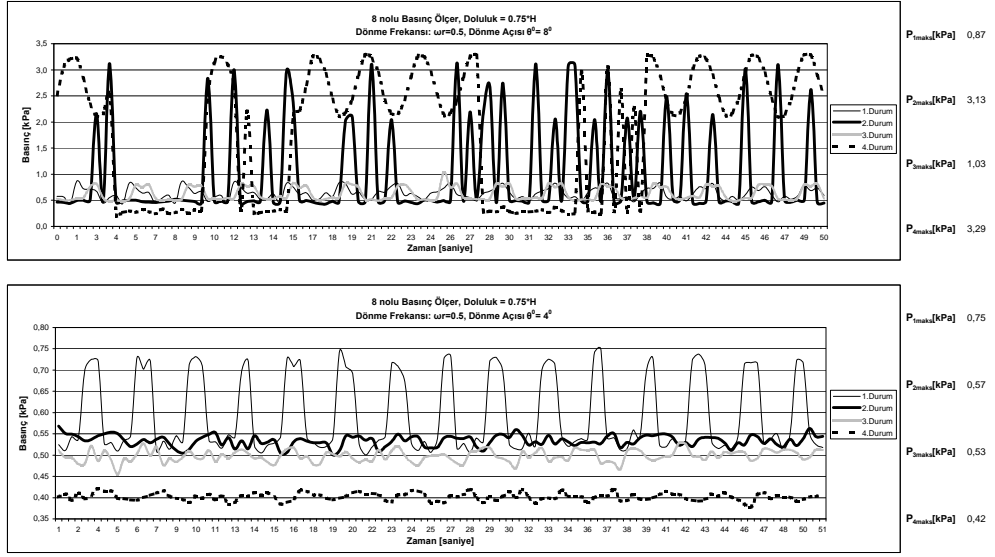
Şekil A.10 : Dönme frekansı 0.5 r/s için 9 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri



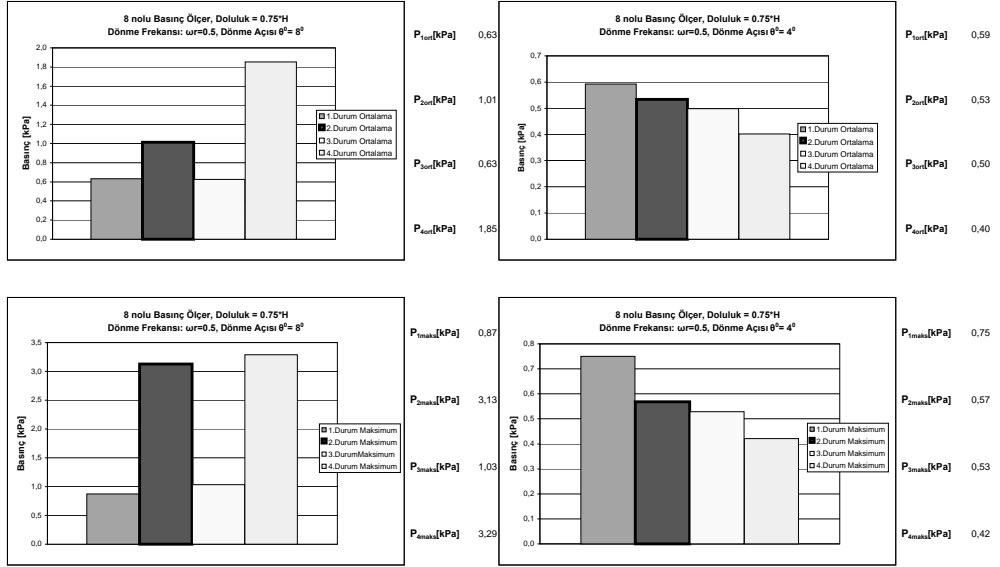
Şekil A.11: Dönme frekansı 0.5 r/s için 3 nolu basınç ölçerdeki değişim



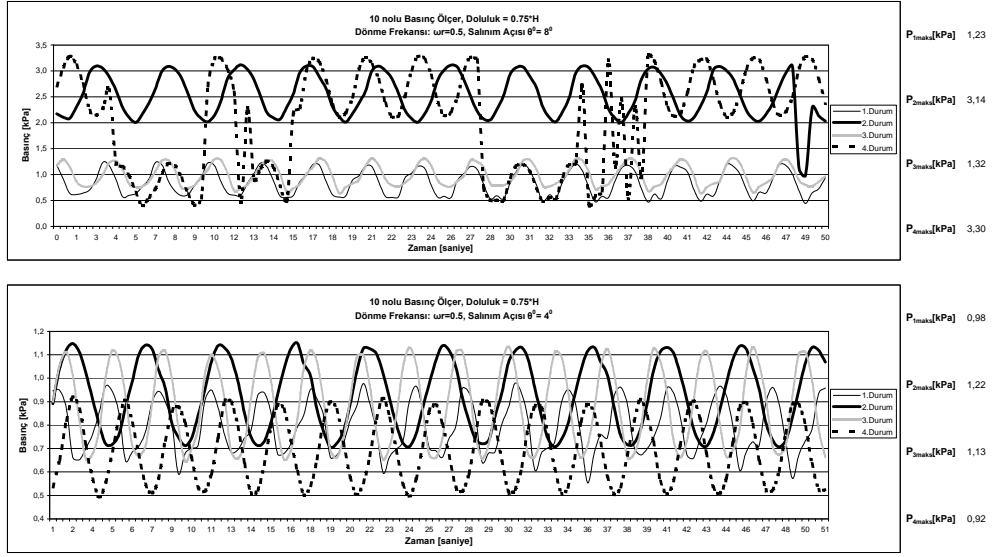
Şekil A.12 : Dönme frekansı 0.5 r/s için 3 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri



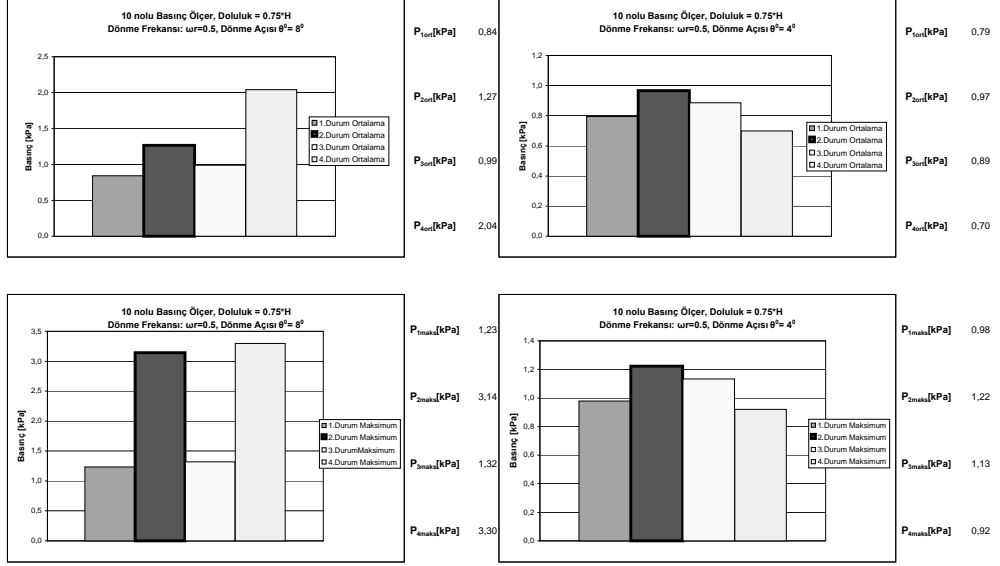
Şekil A.13: Dönme frekansı 0.5 r/s için 8 nolu basınç ölçerdeki değişim



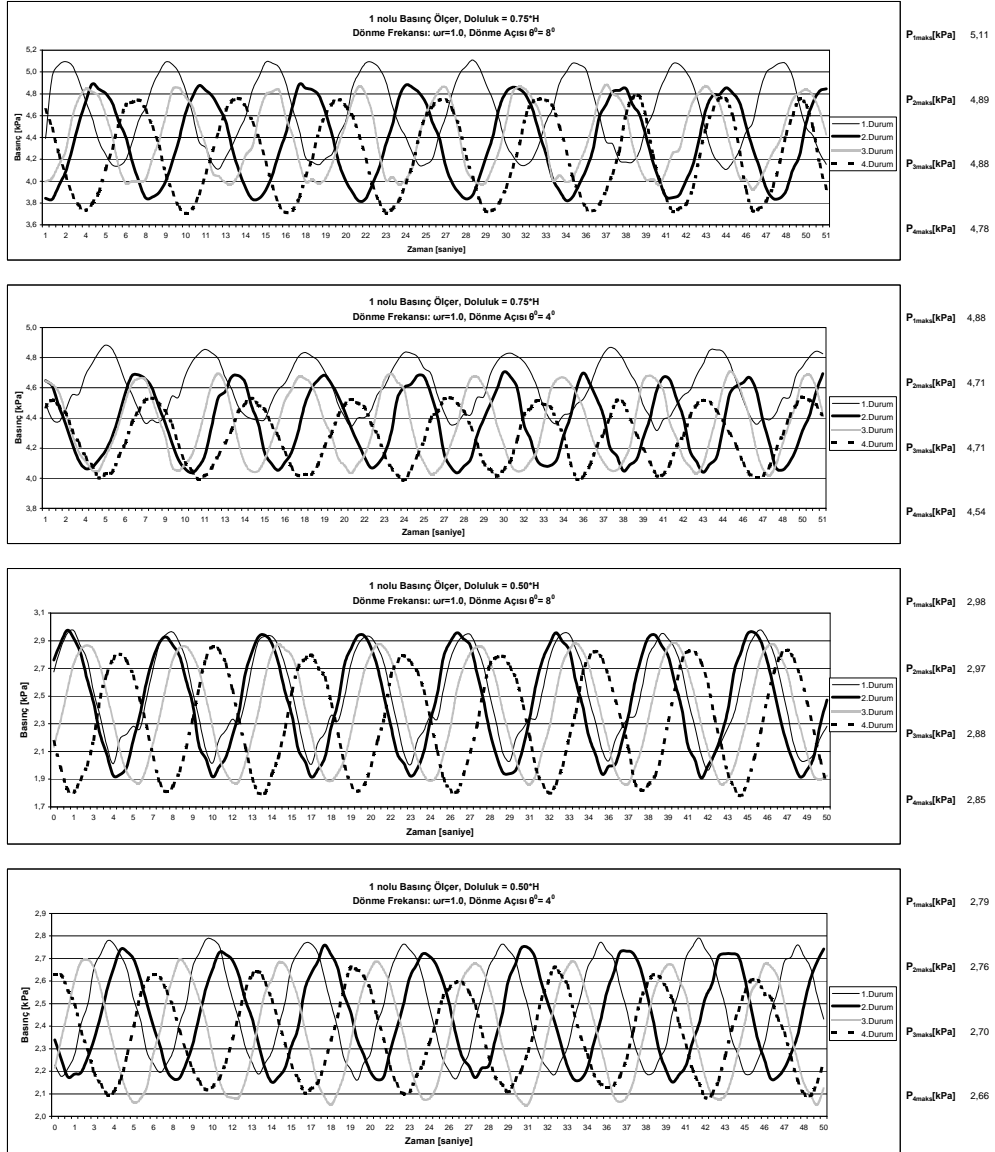
Şekil A.14 : Dönme frekansı 0.5 r/s için 8 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri



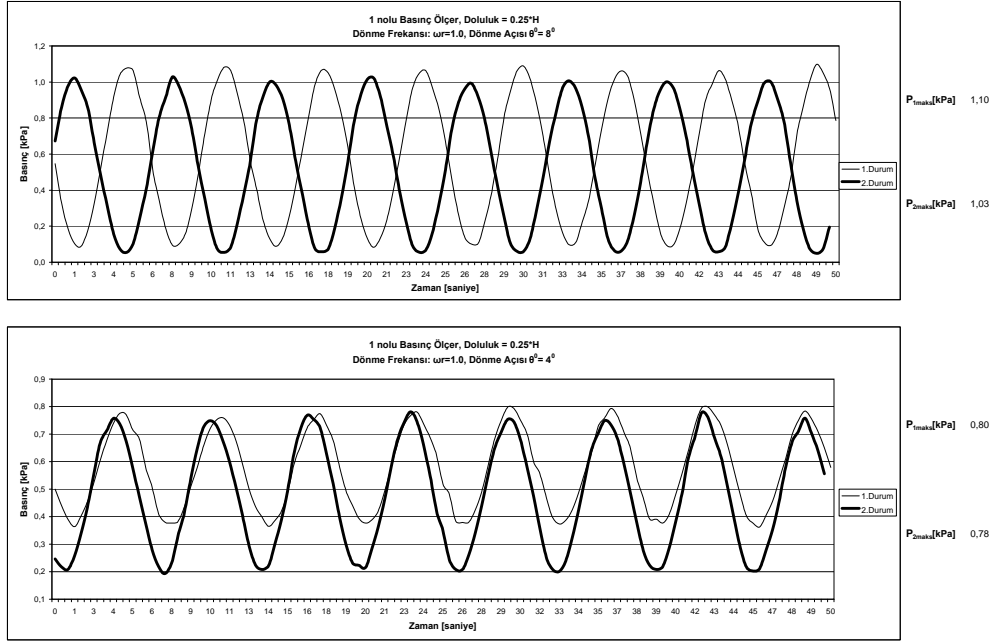
Şekil A.15: Dönme frekansı 0.5 r/s için 10 nolu basınç ölçerdeki değişim



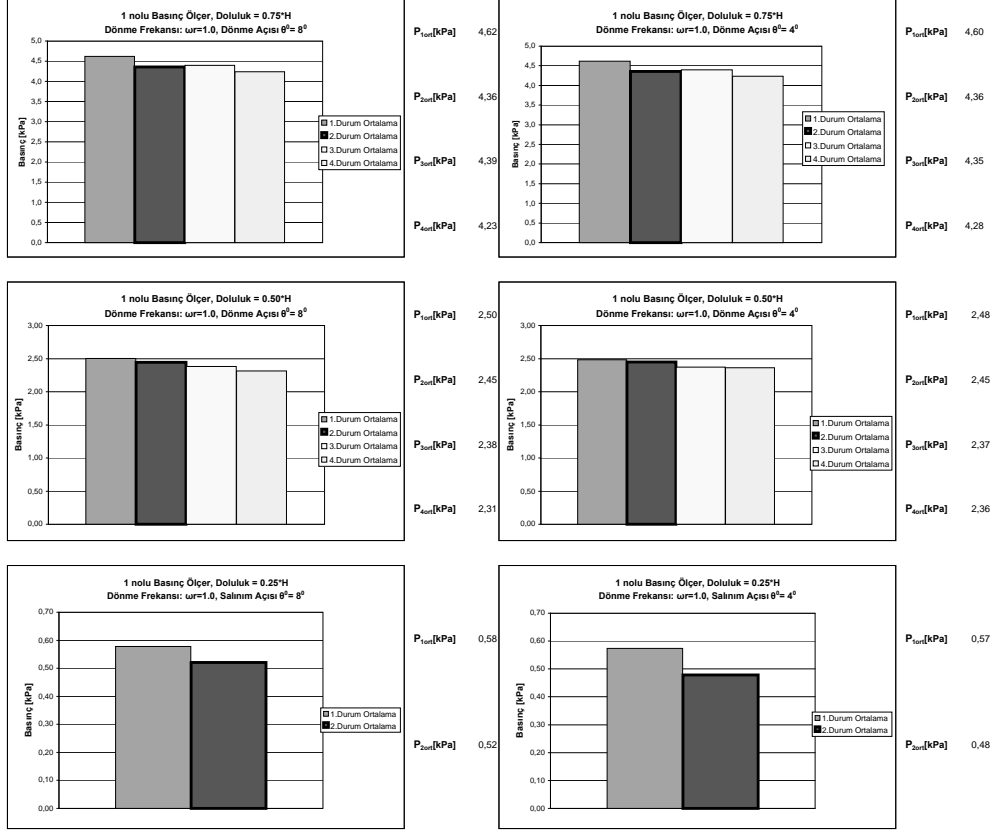
Şekil A.16 : Dönme frekansı 0.5 r/s için 10 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri



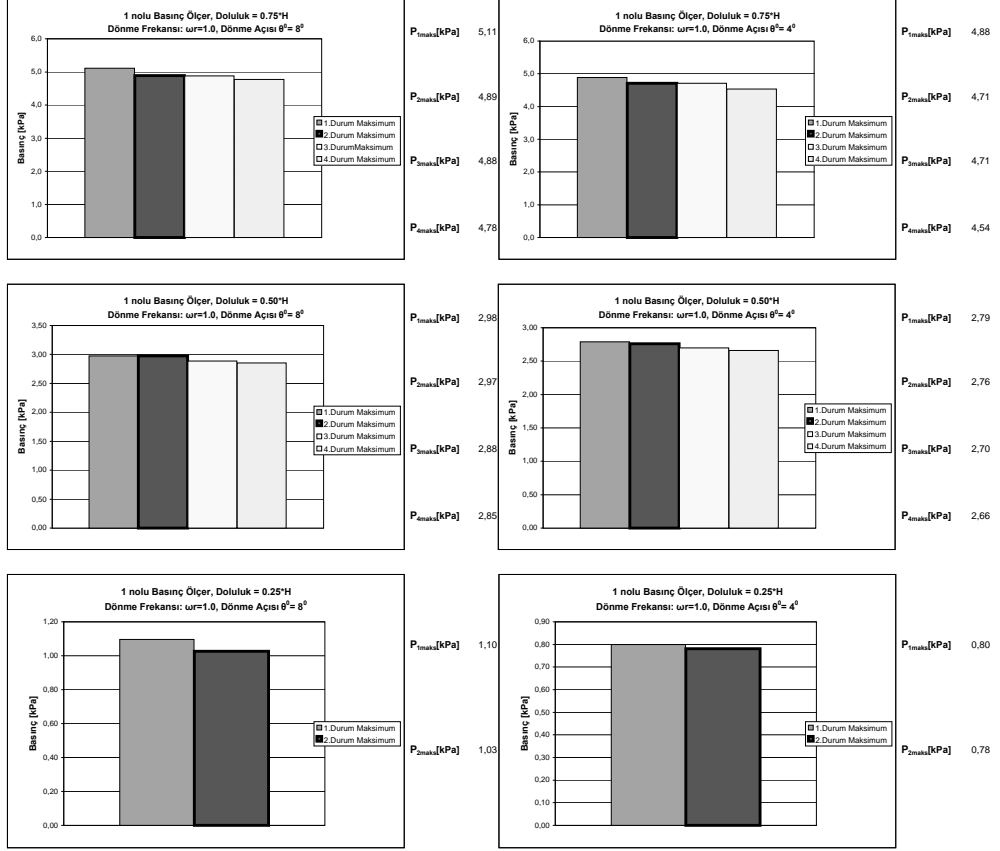
Şekil A.17-a: Dönme frekansı 1 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki değişim



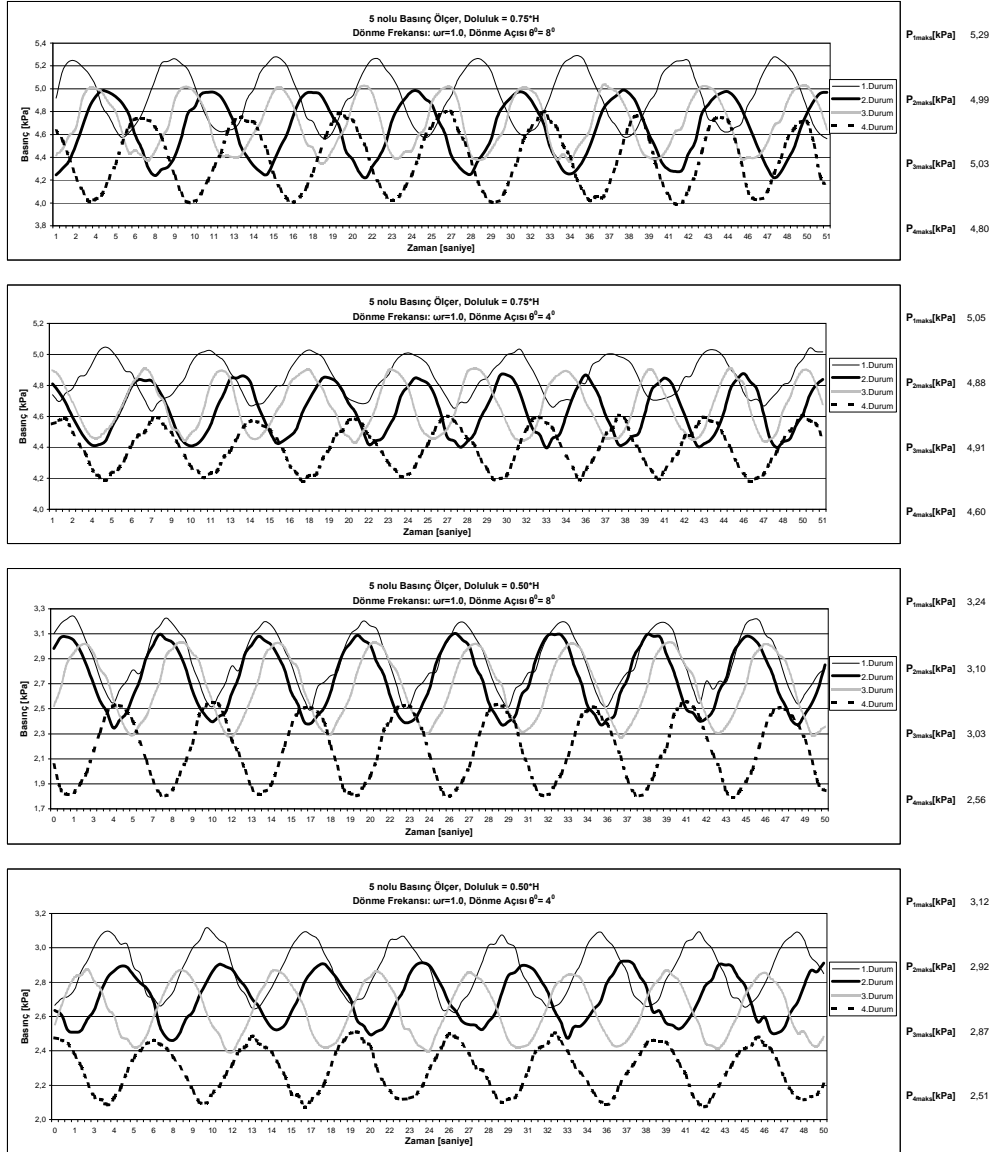
Şekil A.17-b: Dönme frekansı 1 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki değişim



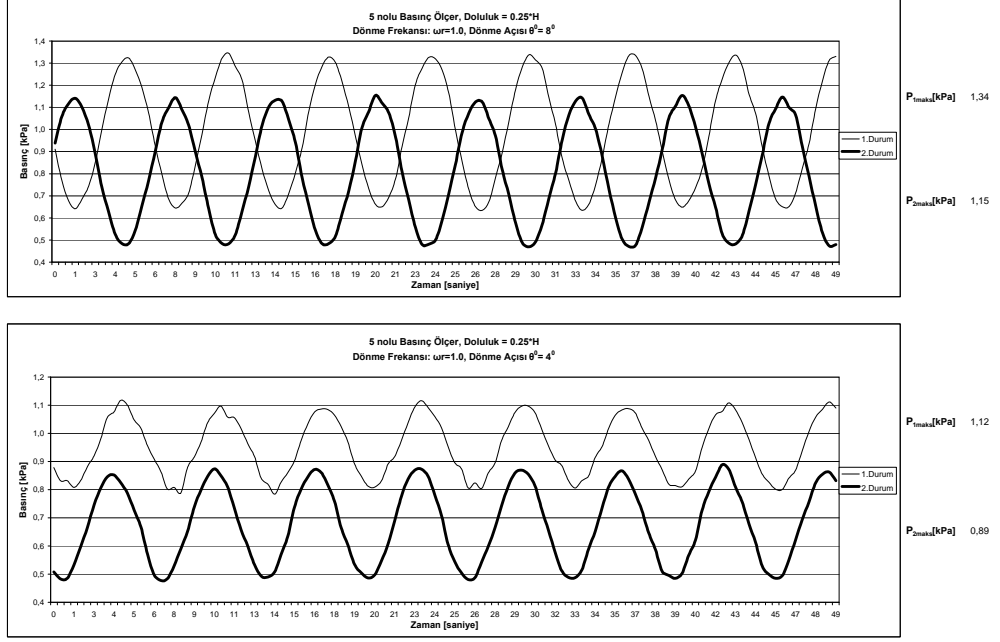
Şekil A.18-a : Dönme frekansı 1 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki ortalama basınç değerleri



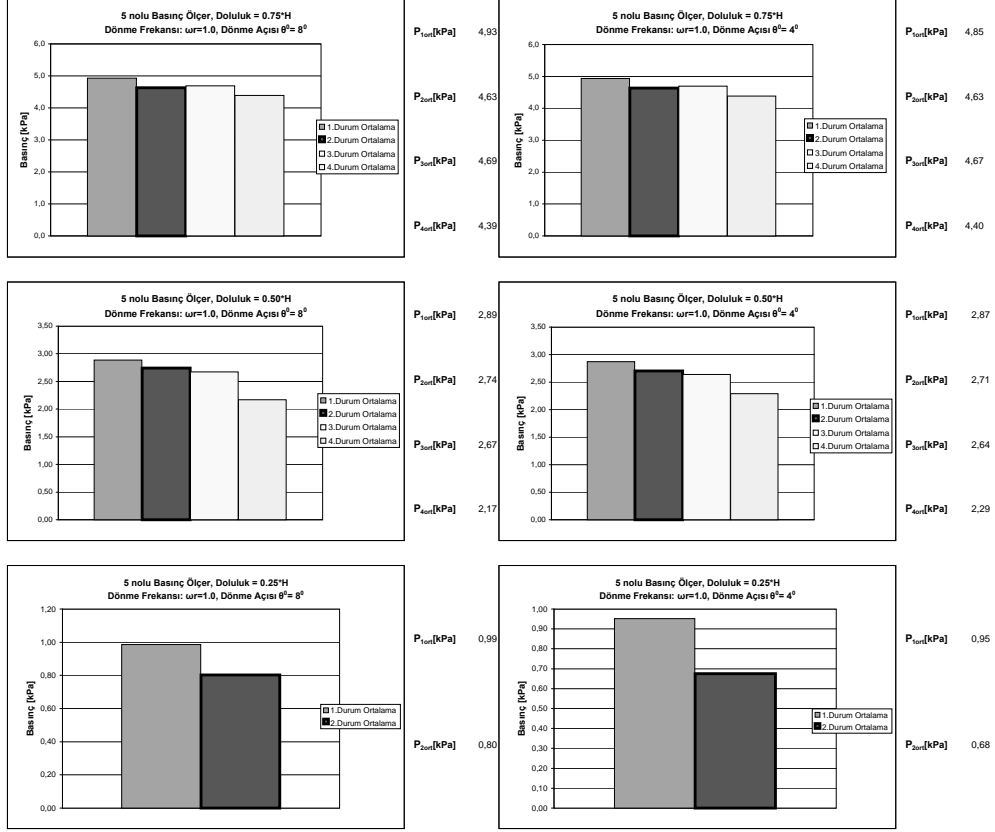
Şekil A.18-b : Dönme frekansı 1 r/s için 1 nolu basınç ölçerdeki maksimum basınç değerleri



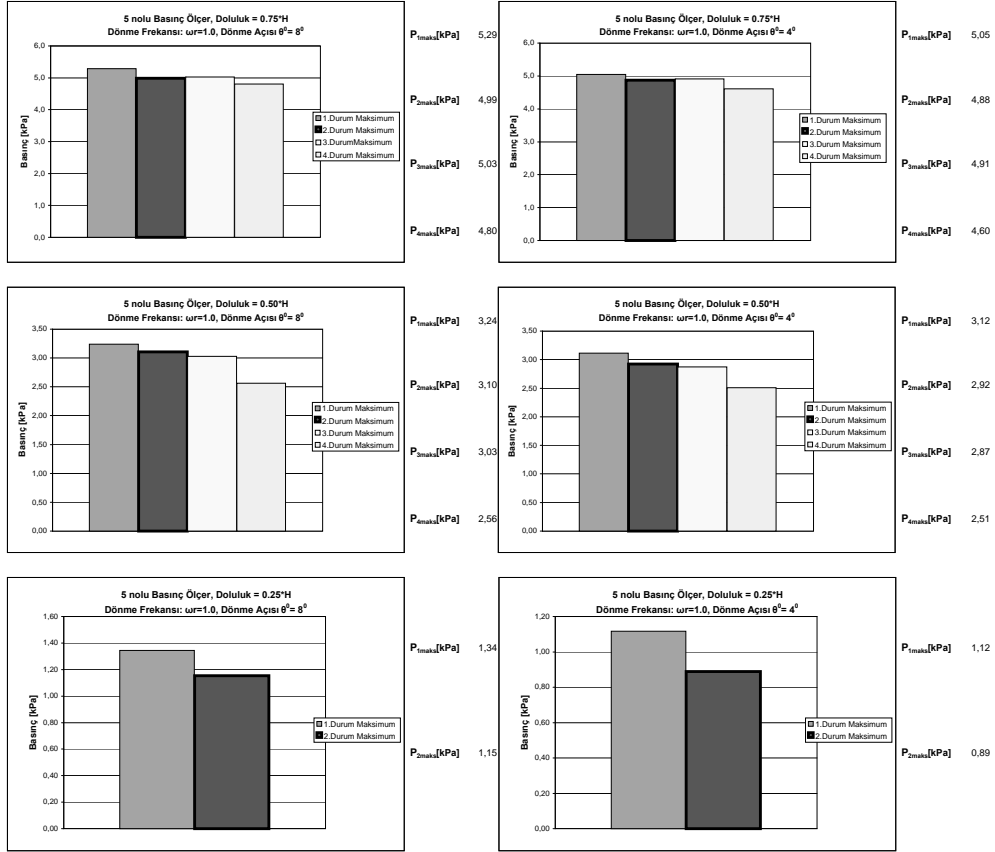
Şekil A.17-a: Dönme frekansı 1 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki değişim



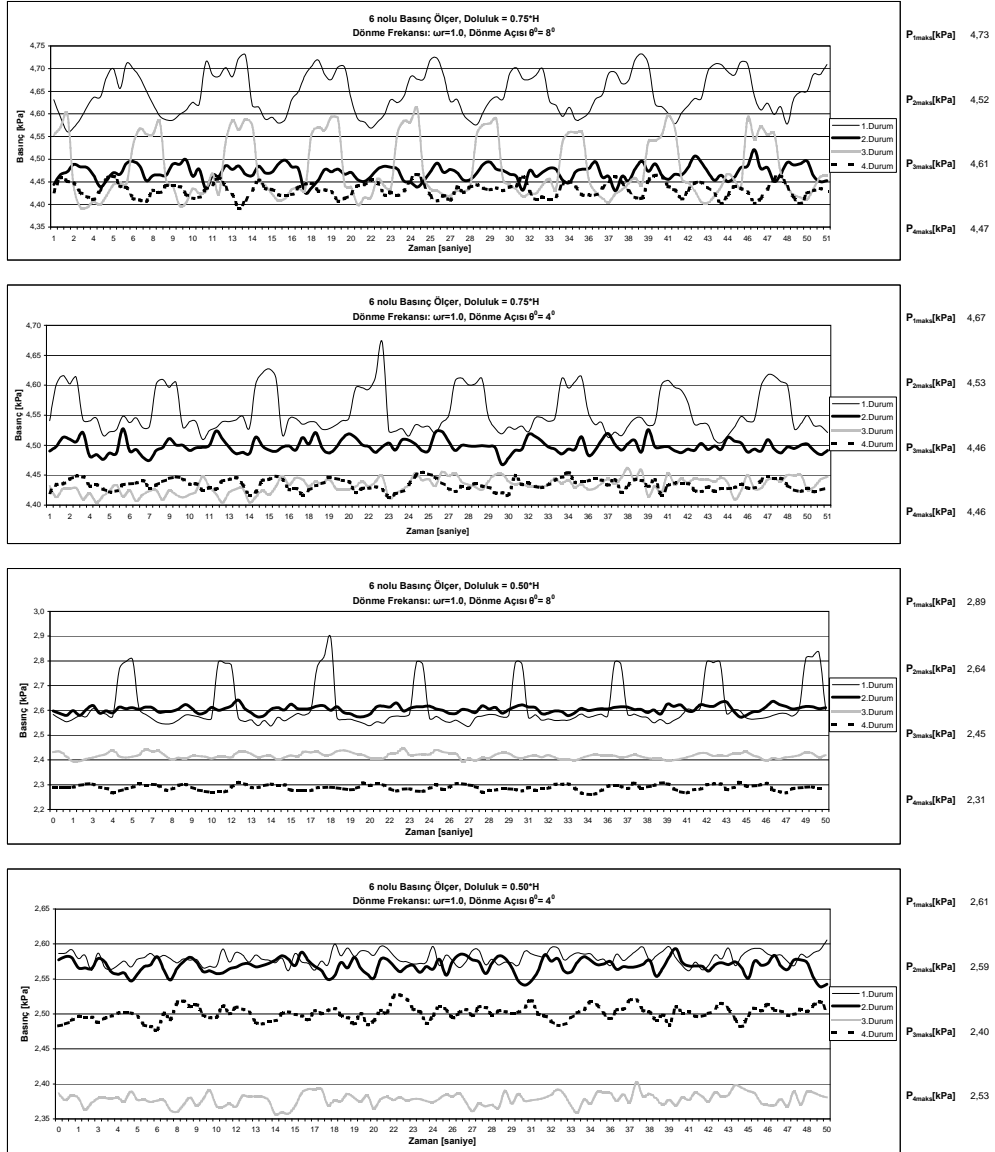
Şekil A.19-b: Dönme frekansı 1 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki değişim



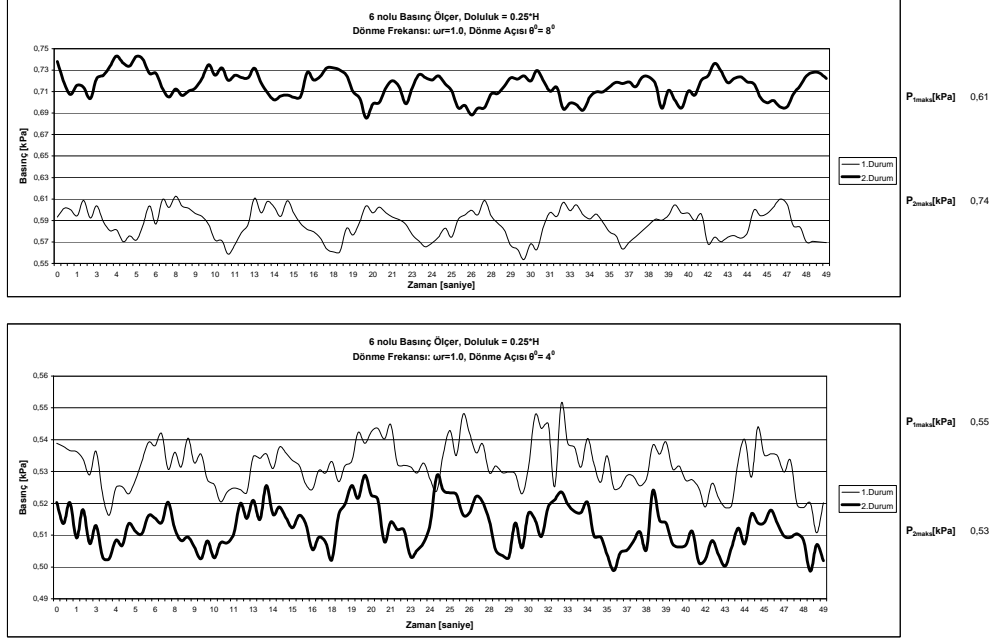
Şekil A.20-a : Dönme frekansı 1 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki ortalama basınç değerleri



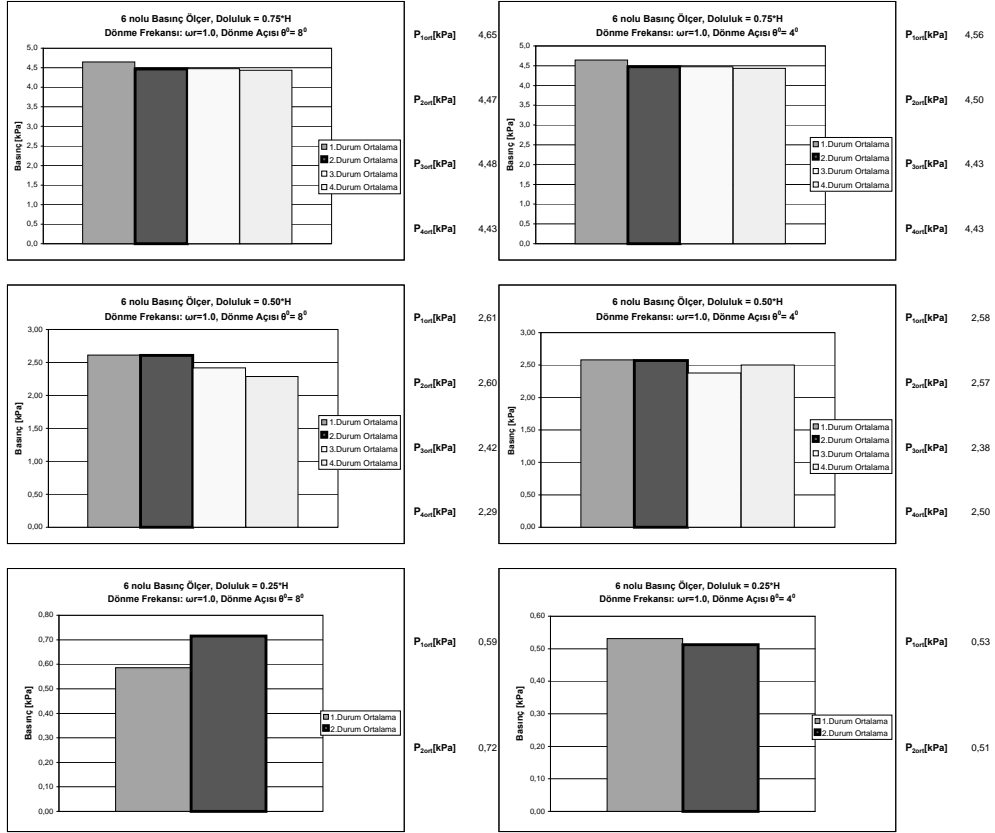
Şekil A.20-b : Dönme frekansı 1 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki maksimum basınç değerleri



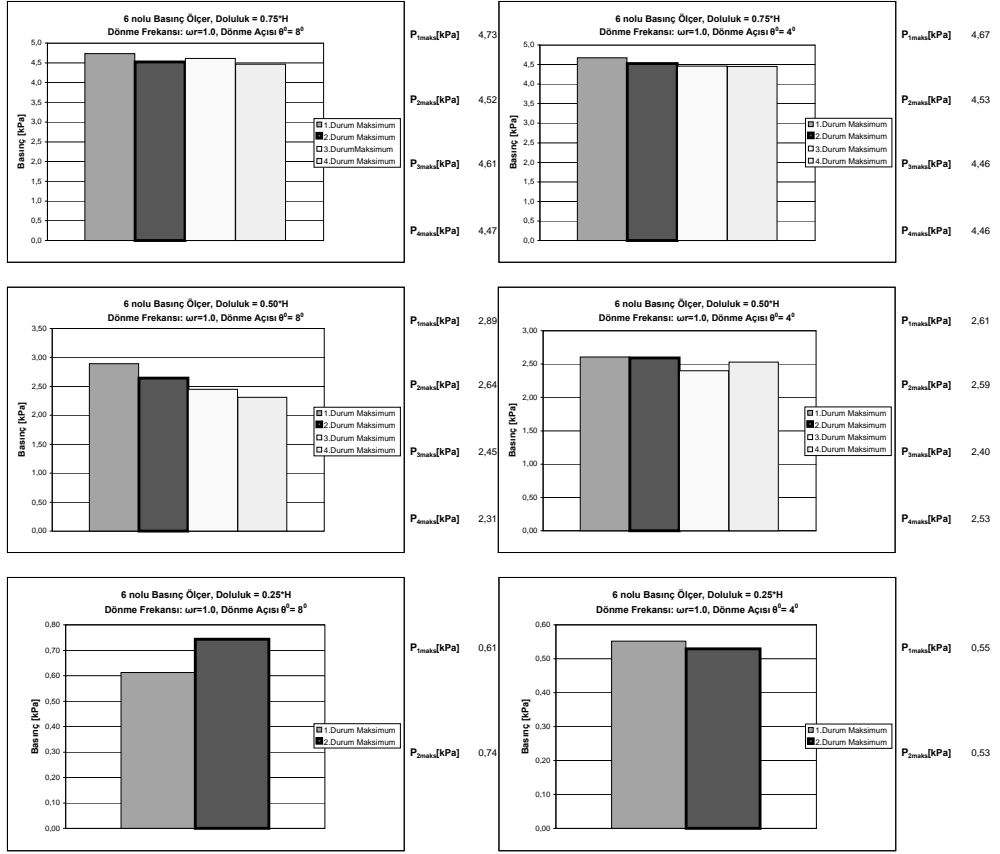
Şekil A.17-a: Dönme frekansı 1 r/s için 5 nolu basınç ölçerdeki değişim



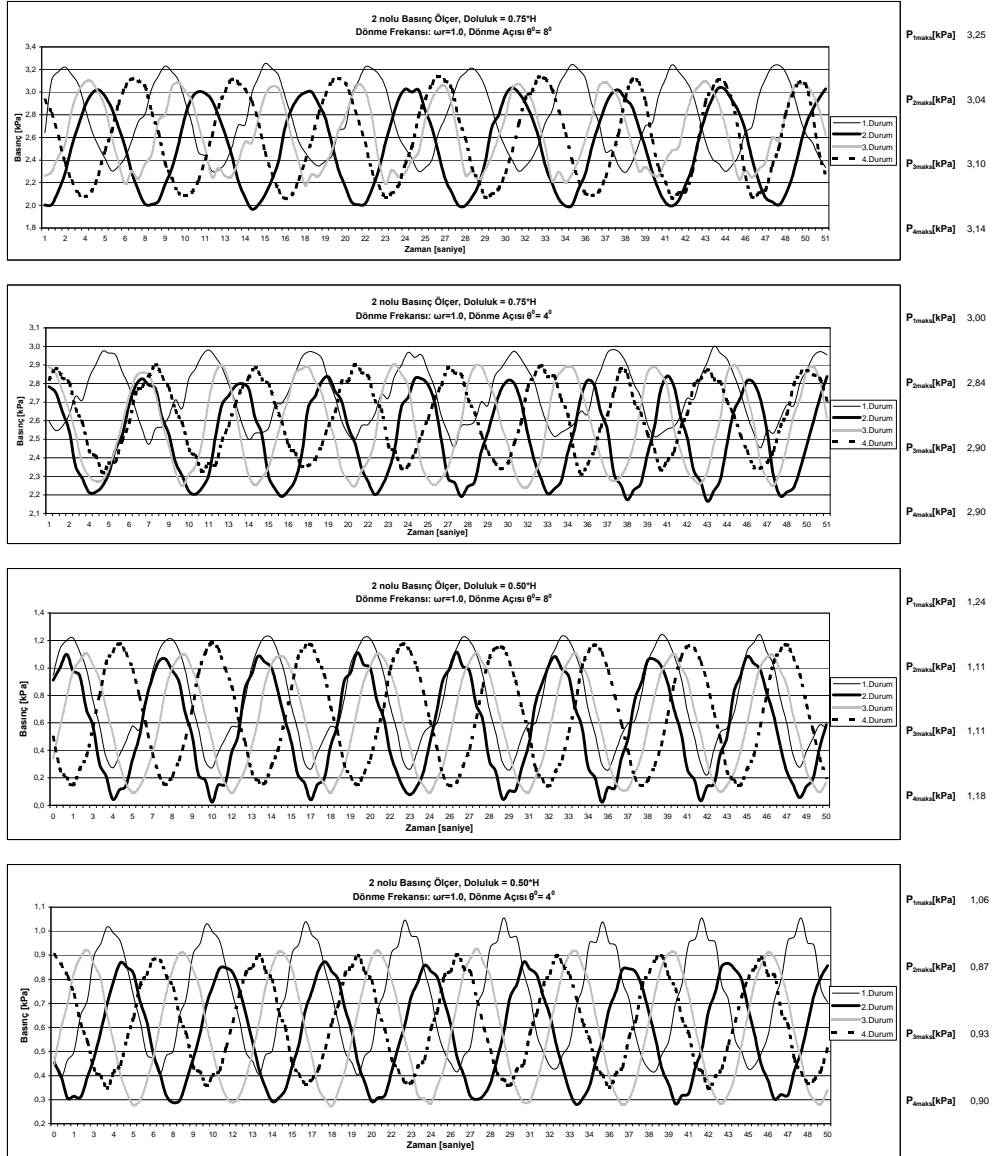
Şekil A.21-b : Dönme frekansı 1 r/s için 6 nolu basınç ölçerdeki değişim



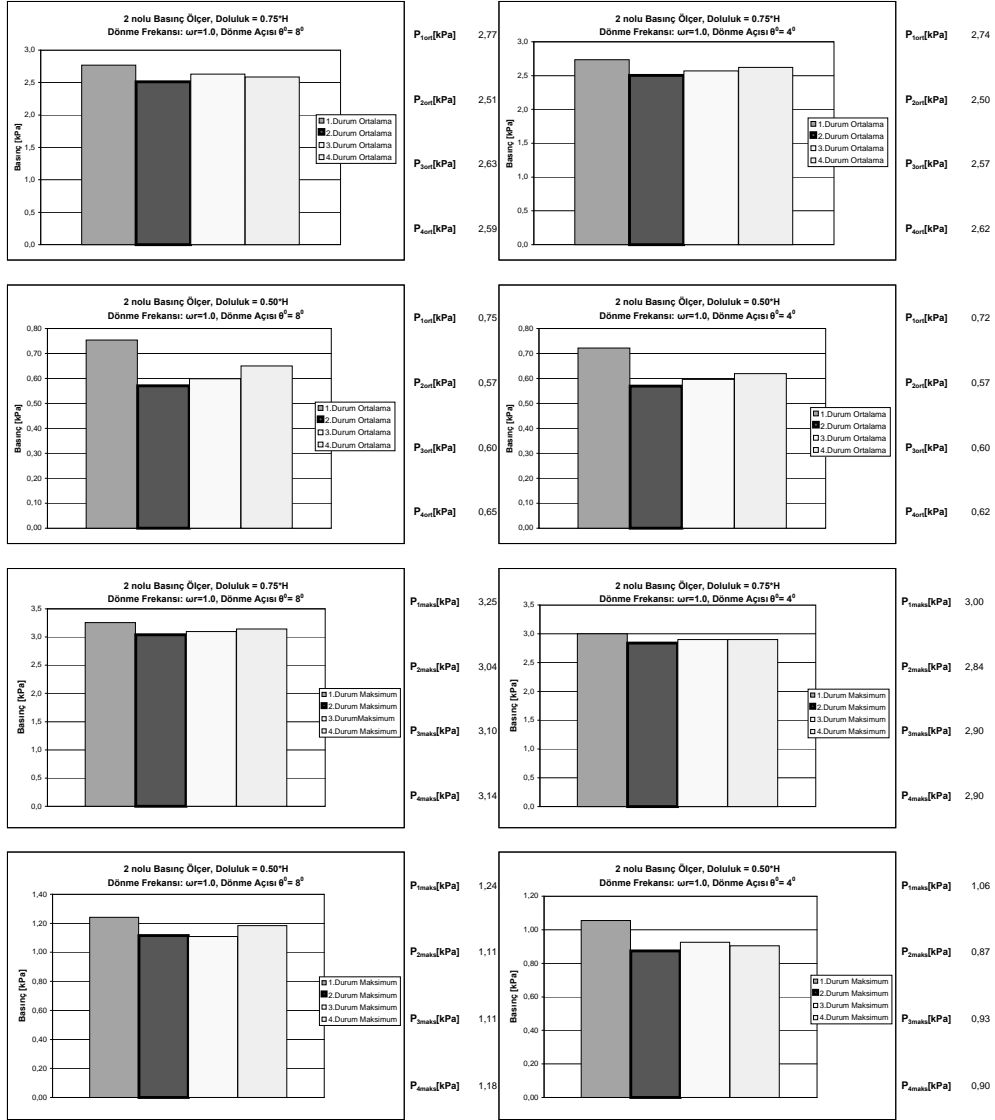
Şekil A.22-a : Dönme frekansı 1 r/s için 6 nolu basınç ölçerdeki ortalama basınç değerleri



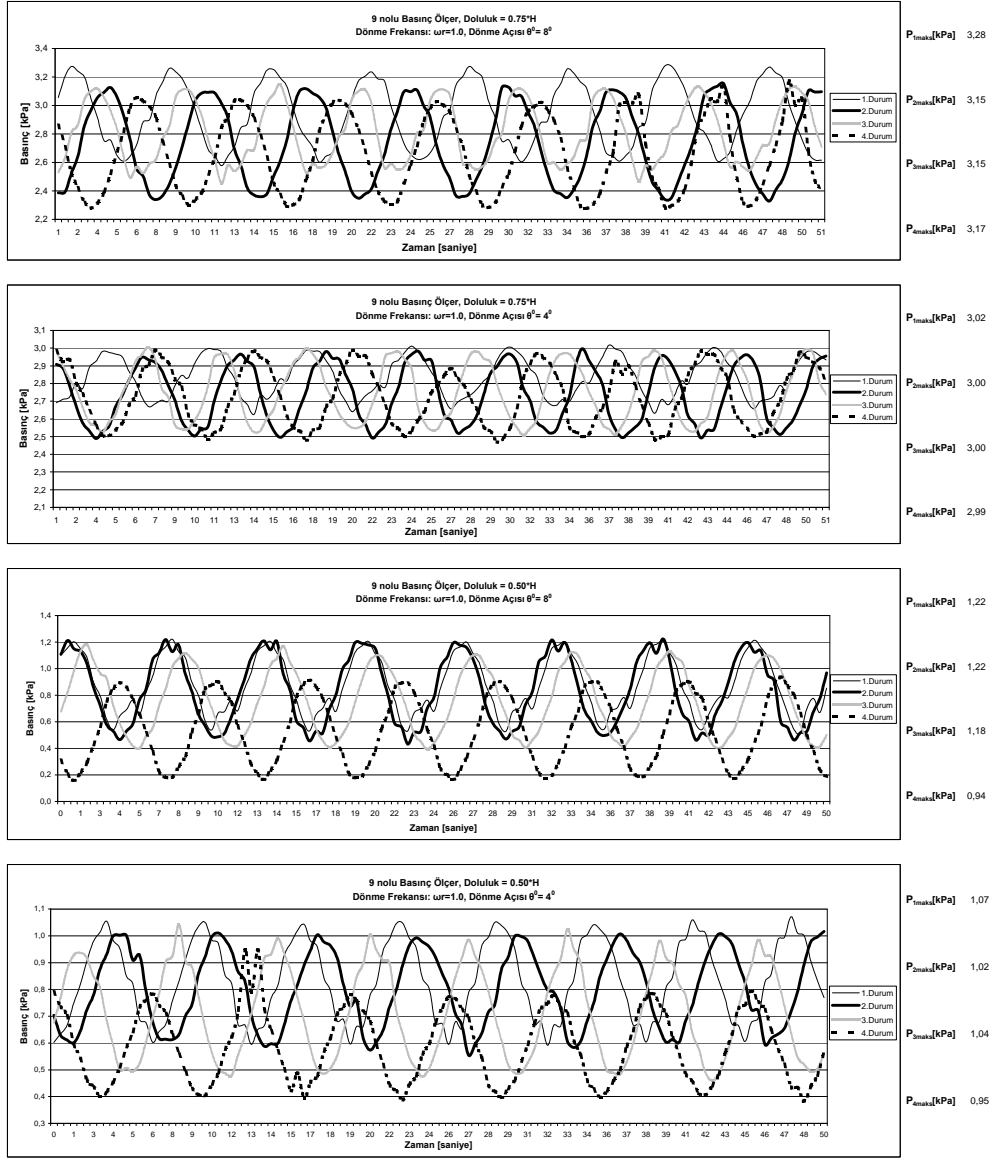
Şekil A.22-b : Dönme frekansı 1 r/s için 6 nolu basınç ölçerdeki maksimum basınç değerleri



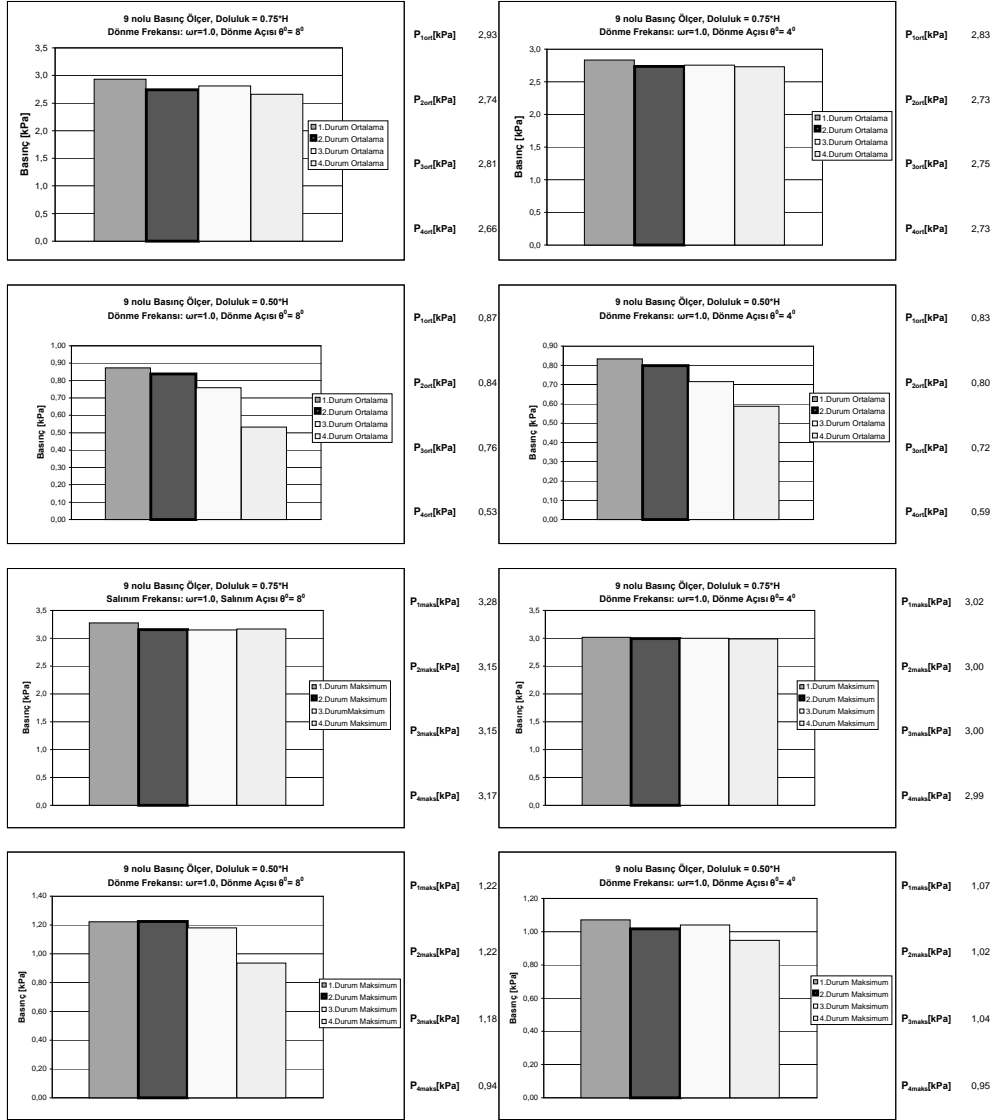
Şekil A.25: Dönme frekansı 1 r/s için 2 nolu basınç ölçerdeki değişim



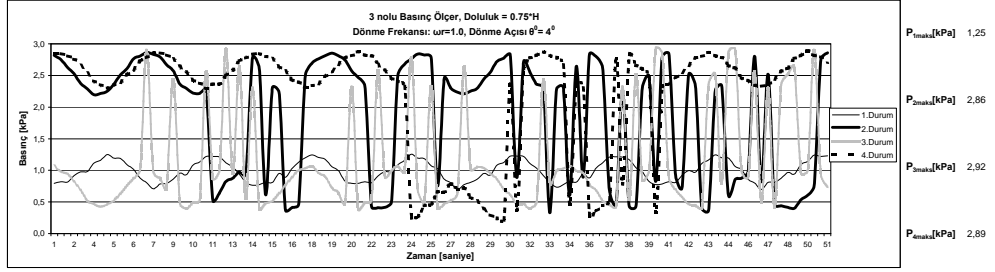
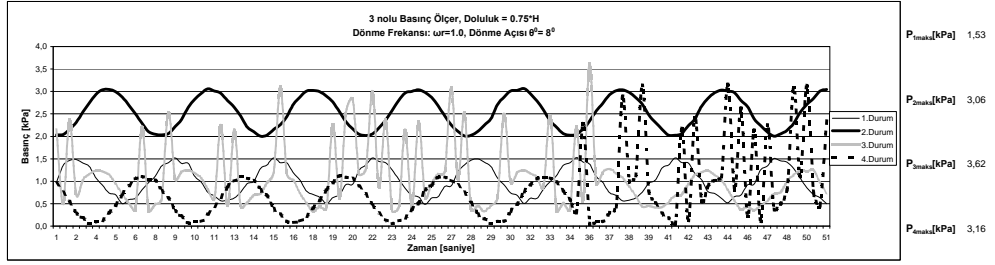
Şekil A.24 : Dönme frekansı 1 r/s için 2 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri



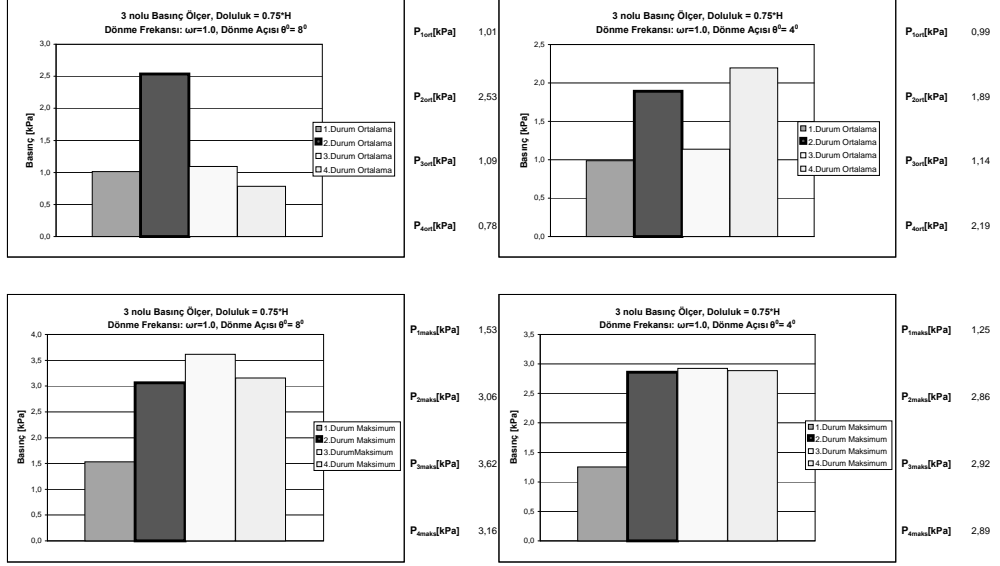
Şekil A.25: Dönme frekansı 1 r/s için 9 nolu basınç ölçerdeki değişim



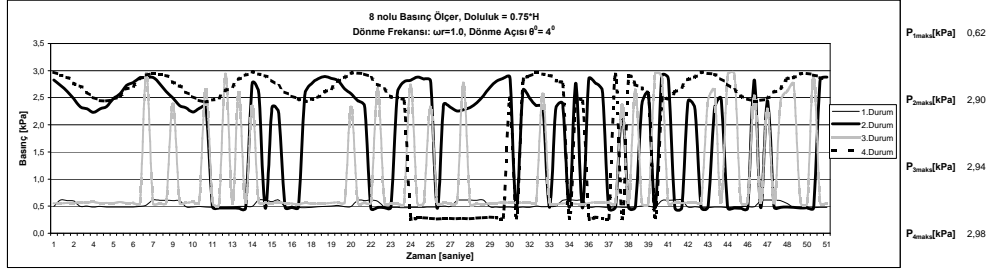
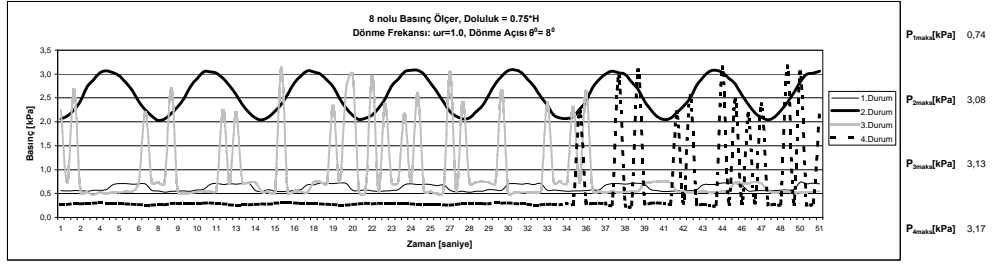
Şekil A.26 : Dönme frekansı 1 r/s için 9 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri



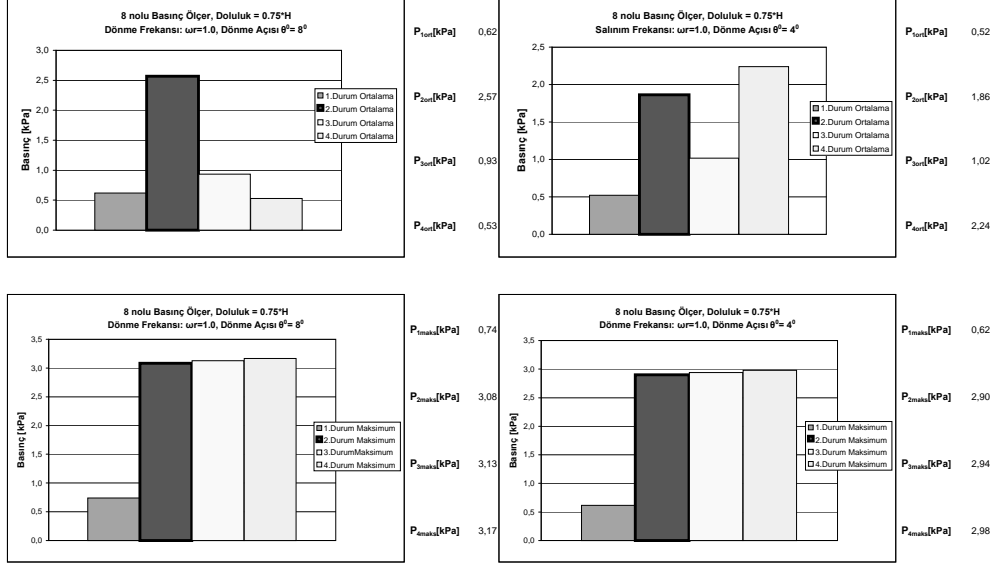
Şekil A.27: Dönme frekansı 1 r/s için 3 nolu basınç ölçerdeki değişim



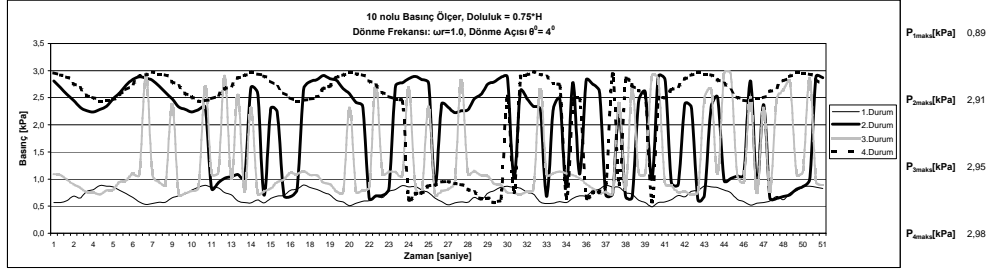
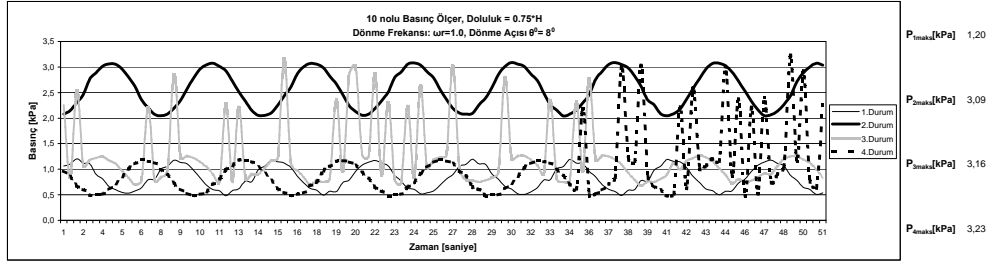
Şekil A.28 : Dönme frekansı 1 r/s için 3 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri



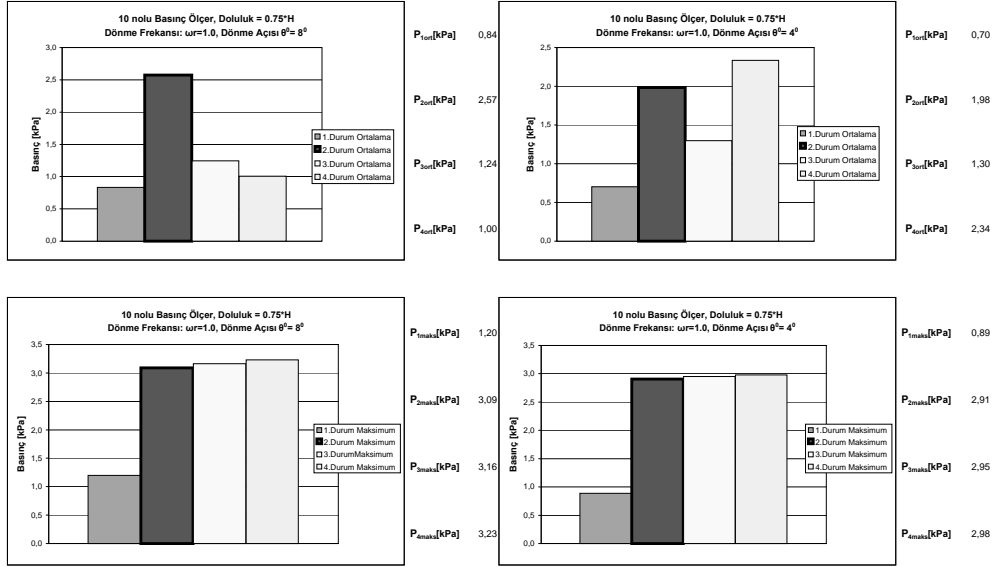
Şekil A.29: Dönme frekansı 1 r/s için 8 nolu basınç ölçerdeki değişim



Şekil A.30 : Dönme frekansı 1 r/s için 8 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri



Şekil A.31: Dönme frekansı 1 r/s için 10 nolu basınç ölçerdeki değişim



Şekil A.32 : Dönme frekansı 1 r/s için 10 nolu basınç ölçerdeki ortalama ve maksimum basınç değerleri

EK - B Boyutsuz Basınç Katsayıları

1 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.5 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	85,78	67,20	31,81		162,15	104,78	56,46
2. Durum	86,10	44,34	46,80		132,92	96,50	88,20
3. Durum	94,83	111,46			148,58	108,86	
4. Durum	79,00	57,89			283,26	108,16	

5 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.5 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	103,15	72,44	39,98		169,01	118,30	76,61
2. Durum	87,18	47,01	50,84		140,22	100,32	103,12
3. Durum	97,07	117,41			153,34	113,29	
4. Durum	78,59	51,66			282,46	101,22	

6 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.5 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	80,01	66,46	17,13		156,89	99,85	39,24
2. Durum	78,91	39,27	33,21		129,76	88,88	61,20
3. Durum	89,12	92,66			137,60	94,21	
4. Durum	72,95	45,10			266,77	97,45	

2 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.5 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	54,91	28,99			100,02	39,55	
2. Durum	54,14	16,93			80,03	31,45	
3. Durum	61,13	44,55			92,61	37,64	
4. Durum	52,83	25,01			184,72	39,47	

Şekil B.1-a Maksimum basınçlar için boyutsuz basınç değeri (C_p), Dönme frekansı 0.5 r/s

9 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.5 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	55,28	27,19			102,30	41,98	
2. Durum	55,40	20,05			86,31	35,47	
3. Durum	61,33	47,69			93,59	38,96	
4. Durum	54,21	19,28			174,16	31,49	

3 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.5 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	26,19				42,65		
2. Durum	54,21				28,62		
3. Durum	25,74				35,16		
4. Durum	53,95				51,59		

8 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.5 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	14,45				24,73		
2. Durum	54,45				15,86		
3. Durum	19,87				16,46		
4. Durum	53,61				26,10		

10 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.5 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	20,44				32,29		
2. Durum	54,63				34,13		
3. Durum	25,38				35,33		
4. Durum	53,79				57,12		

Şekil B.1-b Maksimum basınçlar için boyutsuz basınç değeri (C_p), Dönme frekansı 0.5 r/s

1 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.7 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	85,59	71,47	31,32		225,49	139,53	53,35
2. Durum	58,80	57,38	48,90		88,37	96,07	79,11
3. Durum	71,37	186,65			167,43	226,34	
4. Durum	91,08	60,60			236,91	118,80	

5 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.7 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	87,86	77,80	40,45		234,38	154,06	71,41
2. Durum	60,08	60,81	52,53		93,04	100,79	93,31
3. Durum	73,61	196,62			173,55	238,95	
4. Durum	91,49	54,26			239,31	109,71	

6 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.7 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	79,39	70,79	17,83		216,48	129,48	36,36
2. Durum	53,96	51,43	35,10		86,02	88,83	57,29
3. Durum	75,79	157,83			156,87	197,69	
4. Durum	85,41	47,98			228,14	108,50	

2 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.7 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	54,13	29,60			139,15	51,93	
2. Durum	36,56	21,51			53,33	30,78	
3. Durum	46,07	71,93			104,19	76,86	
4. Durum	59,96	25,56			151,15	41,71	

Şekil B.2-a Maksimum basınçlar için boyutsuz basınç değeri (C_p), Dönme frekansı 0.5 r/s

9 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.7 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	54,86	28,74			141,70	52,85	
2. Durum	37,90	24,36			57,08	35,45	
3. Durum	48,12	78,75			106,78	81,02	
4. Durum	63,57	19,78			149,88	34,59	

3 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.7 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	25,88				58,19		
2. Durum	36,68				19,28		
3. Durum	44,97				104,73		
4. Durum	63,62				41,14		

8 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.7 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	13,06				32,94		
2. Durum	37,31				10,48		
3. Durum	45,82				105,62		
4. Durum	61,54				20,79		

10 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 0.7 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	20,81				43,46		
2. Durum	37,42				21,74		
3. Durum	46,32				106,13		
4. Durum	61,93				50,97		

Şekil B.2-b Maksimum basınçlar için boyutsuz basınç değeri (C_p), Dönme frekansı 0.7 r/s

1 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 1.0 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	127,71	84,04	39,21		266,10	147,93	66,66
2. Durum	73,68	58,18	68,96		189,47	95,78	98,07
3. Durum	166,37	179,44			294,43	313,87	
4. Durum	115,49	70,76			226,04	107,07	

5 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 1.0 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	132,25	91,52	48,08		275,02	165,20	93,19
2. Durum	75,20	60,70	77,51		196,31	101,46	111,44
3. Durum	171,45	188,53			307,17	334,41	
4. Durum	116,10	63,48			229,34	101,04	

6 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 1.0 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	118,30	81,71	21,91		254,61	138,13	46,01
2. Durum	68,14	51,67	49,88		182,30	90,02	66,34
3. Durum	157,14	152,28			279,10	279,64	
4. Durum	108,00	57,28			221,91	101,73	

2 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 1.0 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	81,35	35,08			163,48	55,95	
2. Durum	45,81	21,80			114,40	30,30	
3. Durum	105,61	69,05			181,59	107,76	
4. Durum	75,92	29,34			144,54	36,36	

Şekil B.3-a Maksimum basınçlar için boyutsuz basınç değeri (C_p), Dönme frekansı 1.0 r/s

9 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 1.0 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	81,96	34,51			164,43	56,80	
2. Durum	47,53	23,95			120,66	35,28	
3. Durum	107,26	73,48			187,81	121,19	
4. Durum	76,63	23,21			148,93	38,14	

3 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 1.0 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	38,23				68,27		
2. Durum	46,17				115,19		
3. Durum	123,33				182,95		
4. Durum	76,32				143,77		

8 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 1.0 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	21,79				40,88		
2. Durum	47,17				22,89		
3. Durum	35,21				33,06		
4. Durum	79,48				20,94		

10 nolu Basınç Ölçer							
Frekans 1.0 r/s							
	8°				4°		
	75%	50%	25%		75%	50%	25%
1. Durum	18,44				33,58		
2. Durum	46,47				116,81		
3. Durum	106,67				184,11		
4. Durum	76,55				148,36		

Şekil B.3-b Maksimum basınçlar için boyutsuz basınç değeri (C_p), Dönme frekansı 1.0 r/s

ÖZGEÇMİŞ

Taylan Bağcı 1981 yılında Adıyaman’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gaziantep’te tamamlayıp, 1998 yılında Gaziantep Fitnat-Nuri Tekerekođlu Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimini tamamladıktan sonra aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Yüksek Lisans Programı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Tez çalışmasını Ağustos 2007’de tamamlayarak teslim etmiş bulunmaktadır.