

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RADYAL POMPA ÇARKLARINDAKİ DAİMİ OLMAYAN
AKIŞIN DENEYSEL İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Mesru YALÇIN**

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ISI-AKIŞKAN

MAYIS 2005

**RADYAL POMPA ÇARKLARINDAKİ DAİMİ OLMAYAN
AKIŞIN DENEYSEL İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Mesru YALÇIN
(503021100)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Mayıs 2005**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Erkan AYDER
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mete ŞEN
Yrd.Doç.Dr. Hayri ACAR**

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Radyal pompa çarklarındaki daimi olmayan akışın deneysel olarak incelenmesi konulu bu çalışmamda danışmanlığımı yapan sayın hocam Prof. Dr . Erkan Ayder'e değerli yardımları ve tez çalışmam süresince yaptığı yönlendirmeler için teşekkür ederim.

Ayrıca deneylerin yapılması ve tezin hazırlanmasında yardımları geçen Öğr. Gör. Dr. Ergün Bozdağ'a, Araş. Gör. Yüksek Makina Mühendisi Emin Sünbuloğlu'na, İ.T.Ü Makina Fakültesi Hidromekanik Laboratuvarı teknisyeni Eyüp Ataseven'e ve Yüksek Makina Mühendisi arkadaşım Kerem Yaman'a da teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2005

Mesru YALÇIN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Radyal Pompa Performansı ve Verime Etki Eden Faktörler	4
2.1.1. Çark geometrisinin etkisi	4
2.1.2. Difüzörün etkisi	4
2.2. Çarktaki ve Salyangozdaki Basınç Çalkantılarının Analizi	7
2.2.1. Çark-salyangoz dili etkileşimi	7
2.2.2. Difüzörün etkisi	14
2.2.3. Debinin basınç çalkantılarına etkileri	15
2.2.4. Pompa içi akışı görünürleştirmeye dönük çalışmalar	18
2.2.5. Engelin etkisi	19
2.3. Sonuçlar	21
3. DENEY DÜZENEGİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	23
3.1. Deney Düzenegi İle İlgili Açıklamalar	23
3.2. Yapılan Ölçümler ve Kullanılan Ölçme Aletleri	23
3.2.1. Devir sayısının ölçümü	25
3.2.2. Debinin ölçümü	25
3.2.3. Basma yüksekliğinin ölçümü	26
3.2.4. Pompa gücünün ölçümü	26
3.2.5. Toplam basınç ve statik basınç ölçümü	27
3.2.6. Zamana bağlı basınç ölçümleri	28
3.2.6.1. Piezoelektrik transdüser ile zamana bağlı ölçümler	28
3.2.6.2. Strain-gage ile zamana bağlı ölçümler	29
3.2.6.3. Validyne marka transdüser ile zamana bağlı ölçümler	29
3.2.7. Piezoelektrik transdüser özellikleri	31
3.2.8. Validyne marka DP15 transdüser özellikleri	31
3.2.9. Kullanılan veri toplama kartı	33
3.3. Kullanılan Çarkın Geometrik Bilgileri	34
3.4. Çarkın Yerleştiği Yuvanın Boyutları ve Açıklıklar	35
3.5. Ölçümlerin Alındığı Plexiglas Yüzeyin Boyutları ve Açıklıklar	35

4. DENEYLERDE ELDE EDİLEN SONUÇLAR	36
4.1. Çark Performansı İle İlgili Ölçüm Sonuçları	36
4.1.1. Pompa basma yüksekliği ölçüm sonuçları	36
4.1.2. Pompa performans eğrisinin değerlendirilmesi	38
4.1.2.1. Engelin olmadığı durumda pompa performans eğrisi	38
4.1.2.2. Engelin olduğu durumda pompa performans eğrisi	38
4.1.3. Statik basınç ölçüm sonuçları	38
4.1.3.1. Engelin olmadığı durumda çark çevresindeki statik basınç dağılımının değerlendirilmesi	41
4.1.3.2. Engelli durumda çark çevresindeki statik basınç dağılımının değerlendirilmesi	41
4.2. Zamana Bağlı Ölçüm Sonuçları	41
4.2.1. Piezoelektrik transdüserle elde edilen zamana bağlı sonuçlar	41
4.2.1.1. Piezoelektrik transdüserle elde edilen sonuçların değerlendirilmesi	44
4.2.2. Strain-gage kullanılarak elde edilen zamana bağlı sonuçlar	44
4.2.3. Validyne marka transdüserle elde edilen zamana bağlı sonuçlar	46
4.2.3.1. Ölçüm sonuçları	47
4.2.3.2. Farklı çevresel konumdan alınan ölçüm sonuçları	75
5. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	86
KAYNAKLAR	88
EKLER	91
EK-A. Deney Tesisatı Resimleri	91
EK-B. Veri Toplama Sisteminde Kullanılan Elemanların Özellikleri	95
a) Piezoelektrik Transdüser	95
b) Besleyici	95
c) Kablolama terminali	96
d) Veri toplama kartı	96
e) Validyne transdüser	96
f) Carrier demodülatör	97
EK-C. Veri Değerlendirmede Kullanılan Quick Basic Programı	98
EK-D. Hata Analizi	101
ÖZGEÇMİŞ	104

KISALTMALAR

FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform)
LDV	: Lazer Dopler Anemometrisi (Laser Doppler Velocimetry)
PIV	: Parçacık Görüntüsel Hız Belirleme Yöntemi (Particle Image Velocimetry)
HWA	: Sıcak Tel Anemometresi (Hot Wire Anemometer)
KGF	: Kanat Geçiş Frekansı

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Basınç çalkantılarının değerleri (Timouchev ve diğ. 2003).....	13
Tablo 3.1. Validyne marka transdüser kalibrasyon değerleri.....	32
Tablo 4.1. 3000 dev/dak için engelli durumdaki deney verileri.....	36
Tablo 4.2. 3000 dev/dak için engelsiz durumdaki deney verileri.....	38
Tablo 4.3. Engelsiz halde alınan basınçların mHava olarak ortalama değerleri.....	75
Tablo 4.4. Engelsiz halde alınan basınçların mHava olarak ortalama değerleri (Farklı çevresel konumdan).....	75
Tablo 4.5. Engelli halde alınan basınçların mHava olarak ortalama değerleri..	78
Tablo 4.6. Engelli halde alınan basınçların mHava olarak ortalama değerleri (Farklı çevresel konumdan).....	78

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Travers düzleminin yerleşimi (Aysheshim ve Stoffel 2000).....	5
Şekil 2.2 : Kanatsız difüzördeki basınç çalkantıları (Aysheshim ve Stoffel 2000).....	6
Şekil 2.3 : Tasarım debisinin 1.2 katındaki debide ($q=1.2$) basınç çalkantıları (Aysheshim ve Stoffel 2000).....	6
Şekil 2.4 : Tasarım debisinde ($q=1$) basınç çalkantıları (Aysheshim ve Stoffel 2000).....	7
Şekil 2.5 : Çark etrafındaki basınç prizlerinin konumları (Parrando ve diğ. 2000).....	9
Şekil 2.6 : Salyangoz etrafındaki statik basınç dağılımı (Parrando ve diğ. 2000).....	9
Şekil 2.7 : Kgf'deki basınç çalkantılarının genliğinin salyangoz etrafında debi ile değişimi (Parrando ve diğ. 2000).....	10
Şekil 2.8 : Debiye ve konuma göre basınç büyüklüğünün spektrum analizi (Parrando ve diğ. 2000).....	10
Şekil 2.9 : Farklı debilerde iki kanat aralığındaki zamana bağlı basınç dağılımı (Parrando ve diğ. 2000).....	11
Şekil 2.10 : Basınç ölçüm noktalarının yerleri (Timouchev ve diğ. 2003).....	12
Şekil 2.11 : Bir numaralı noktadan alınan basınç sinyalinin spektrumu (Timouchev ve diğ. 2003).....	13
Şekil 2.12 : Kgf'deki basınç çalkantı genliğinin iki boyutlu yöntemle hesaplanmış salyangoz çevresince dağılımı (Timouchev ve diğ. 2003).....	13
Şekil 2.13 : Üç boyutlu yaklaşımla hesaplanmış genlik spektrumları (Timouchev ve diğ. 2003).....	14
Şekil 2.14 : Tasarım debisinde kgf'deki basınç çalkantıları, Dil $\varphi=0^\circ$ konumunda (Gonzalez ve diğ. 2002).....	15
Şekil 2.15 : Tasarım debisinin 1.5 katındaki debide kgf'deki basınç çalkantıları, Dil $\varphi=0^\circ$ konumunda (Gonzalez ve diğ. 2002).....	16
Şekil 2.16 : Tasarım debisinin 0.5 katındaki debide kgf'deki basınç çalkantıları, Dil $\varphi=0^\circ$ konumunda (Gonzalez ve diğ. 2002).....	16
Şekil 2.17 : Çarkın yük-debi eğrisi (Stoffel ve Meschkat 2002).....	17
Şekil 2.18 : Difüzör çıkışına yerleştirilen sinüsoidal engelin çevresel konumu (Hong ve Kang 2001).....	20
Şekil 2.19 : Engelsiz durumda çark çıkışı statik basınç dağılımı (Hong ve Kang 2001).....	20
Şekil 2.20 : Engelsiz ve engelli durumlarda çark çıkışındaki teğetsel ve radyal hızların değişimi (Hong ve Kang 2001).....	21

Şekil 2.21	: Engelli durumda a) radyal, teğetsel ve mutlak hızların çark çevresindeki değişimi b) statik ve toplam basıncın değişimi (Hong ve Kang 2001).....	21
Şekil 3.1	: Deney düzeneğinin genel görüntüsü.....	24
Şekil 3.2	: Orifis plakalarının teknik resmi ve çıkış borusuna bağlantısı.....	25
Şekil 3.3	: Çark çıkışında açılan statik basınç prizlerinin konumu.....	27
Şekil 3.4	: Piezoelektrik transdüserle zamana bağlı basınç ölçümlerini almak için açılan basınç prizleri.....	28
Şekil 3.5	: Emme borusu üzerindeki statik basınç prizlerinin yerleri ve çarkın plexiglass'a göre konumu.....	29
Şekil 3.6	: Validyne transdüserde zamana bağlı ölçümler için açılan basınç prizleri.....	30
Şekil 3.7	: Engelin çark etrafındaki konumu.....	30
Şekil 3.8	: Piezoelektrik transdüserde veri toplama sisteminin şematik gösterimi.....	31
Şekil 3.9	: Transdüser kalibrasyon eğrisi.....	32
Şekil 3.10	: Validyne transdüserde veri toplama sisteminin şematik gösterimi.....	33
Şekil 3.11	: Çark temel boyutları.....	34
Şekil 3.12	: Çarkın yerleştiği yuvanın detayları.....	35
Şekil 4.1	: 3000 dev/dak için pompa karakteristik eğrisi.....	37
Şekil 4.2	: Engelsiz durumda çark çevresi statik basınç dağılımı.....	39
Şekil 4.3	: Engelli durumda çark çevresi statik basınç dağılımı.....	40
Şekil 4.4	: 3000 dev/dak'da tasarım debisinde engelsiz ve engelli durumda 4 noktada basınç çalkantılarının spektrumu.....	42
Şekil 4.5	: 1800 dev/dak'da tasarım debisinin %30'unda engelsiz ve engelli durumda 4 noktada basınç çalkantılarının spektrumu.....	43
Şekil 4.6	: Strain-gage kullanılarak elde edilen basınç sinyalinin spektrumu.....	45
Şekil 4.7	: Engelsiz durumda kapalı vana konumunda çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	48
Şekil 4.8	: Engelli durumda kapalı vana konumunda çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	50
Şekil 4.9	: Engelsiz durumda ölçülen minimum debi için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	52
Şekil 4.10	: Engelli durumda minimum debi için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	54
Şekil 4.11	: Engelsiz durumda tasarım debisinin %31'i için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	56
Şekil 4.12	: Engelli durumda tasarım debisinin % 31'i için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	58
Şekil 4.13	: Engelsiz durumda tasarım debisinin % 64'ü için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	60

Şekil 4.14	: Engelli durumda tasarım debisinin % 65'i için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	62
Şekil 4.15	: Engelsiz durumda tasarım debisi için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	64
Şekil 4.16	: Engelli durumda tasarım debisi için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	66
Şekil 4.17	: Engelsiz durumda tasarım debisinden fazla durum için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	68
Şekil 4.18	: Engelli durumda tasarım debisinden büyük debi için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	70
Şekil 4.19	: Engelsiz durumda maksimum debi için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	72
Şekil 4.20	: Engelli durumda maksimum debi için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	74
Şekil 4.21	: İlk konumda engelsiz durumda çark giriş çıkışı arası basınç dağılımı.....	76
Şekil 4.22	: Farklı çevresel konumda engelsiz durumda çark giriş çıkış arasındaki basınç dağılımı.....	77
Şekil 4.23	: İlk konumda engelli durumda çark giriş çıkış arasındaki basınç dağılımı.....	79
Şekil 4.24	: Farklı çevresel konumda engelli durumda çark giriş çıkış arasındaki basınç dağılımı.....	80
Şekil 4.25	: Çark sökölü halde alınan sinyalin spektrumu.....	81
Şekil 4.26	: Sandıktan alınan sinyalin spektrumu.....	81
Şekil 4.27	: Farklı çevresel konumda, engelli durumda, kapalı vana konumunda çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	83
Şekil 4.28	: Farklı çevresel konumda, engelli durumda, tasarım debisinin %8.5'i için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi.....	85
Şekil A.1	: Emme borusu.....	91
Şekil A.2	: Emme borusu ve plexiglas üzerinde açılan statik basınç prizlerinin yerleri.....	91
Şekil A.3	: Açık radyal çark ve engelin çark etrafındaki konumu.....	92
Şekil A.4	: Basma borusu ve orifis bağlantısı.....	92
Şekil A.5	: Validyne marka transdüser ile ölçüm alınması.....	93
Şekil A.6	: Piezoelektrik transdüser ve besleyici.....	93
Şekil A.7	: Üç delikli basınç probu ve sabitleme aparatı.....	94

SEMBOL LİSTESİ

b_2	: çark çıkış genişliği
f_s	: örnekleme frekansı
f_{kg}	: kanat geçiş frekansı
f_R	: mil devri frekansı
H_m	: basma yüksekliği
n	: mil devri
Q_n	: tasarım debisi
β_2	: çark kanat çıkış açısı
η	: verim
W	: bağıl hız
C	: mutlak hız
U	: sürüklenme hızı
z	: kanat sayısı
V	: volt
P_T	: toplam basınç
D_2	: çark dış çapı
D_1	: çark iç çapı
n_q	: özgül hız
d_g	: göbek çapı
α	: akış katsayısı
ε	: genleşme faktörü
φ	: çevresel konum
ρ_u	: akışkan yoğunluğu
p_a	: atmosfer basıncı
p_u	: statik basınç prizinden alınan basınç
ΔP	: basınç farkı
P_e	: güç
q	: herhangi bir anda debinin dizayn debisine oranı
ψ	: boyutsuz yük değeri
θ	: açısal konum
C_r	: radyal hız

RADYAL POMPA ÇARKLARINDAKİ DAİMİ OLMAYAN AKIŞIN DENEYSEL İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, santrifüj pompanın en önemli elemanlarından biri olan çarktaki daimi olmayan akış deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde kullanılan çark, özel bir deney tesisatında denenmiştir. Burada yapılan deneylerde akışkan olarak hava kullanılmıştır. Deney tesisatında salyangoz, difüzör gibi pompanın diğer elemanları, bu elemanlar ile çarkın etkileşiminin olmasının istenmemesi nedeniyle yer almamaktadır. Deneylerde kullanılan çark yanak kısmı kaldırılmış açık bir radyal pompa çarkıdır.

Çalışmada öncelikle çark çıkışında uniform akış koşullarının olduğu durumda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ana amacı, çark çıkışına duran sabit bir engel yerleştirerek, çark etrafında uniform olmayan akış koşullarının yaratılması ve bu şekilde oluşturulan rahatsızlığın çark çıkışından girişine doğru ne şekilde ilerlediğinin incelenmesidir.

İlk bölümde radyal pompa, çark, salyangoz ve difüzör gibi elemanlarla ilgili genel bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde konu ile ilgili olarak daha önce yapılmış çalışmaların özetlendiği literatür taraması sunulmuştur.

Üçüncü bölümde deneylerin yapıldığı deney düzeneği ve kullanılan ölçüm yöntemleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Deneyler kapsamında çark performansı belirlenmiş, basma yüksekliği ve çark çevresi statik basınç dağılımının değişimi de ölçülmüştür. Ayrıca zamana bağlı basınç ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Zamana bağlı basınç ölçümlerini gerçekleştirirken, farklı ölçme cihazları ile çeşitli denemeler yapılmıştır. Sonunda Validyne marka transdüserin ölçümler için en uygun olduğuna karar verilmiş ve bu cihaz kullanılarak 3000 dev/dak ile ölçümlere devam edilmiştir.

Dördüncü ve beşinci bölümde, yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar sıra ile gösterilmiş ve bu sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çark çıkışına konan sabit engelin çark çıkışındaki akış koşullarını değiştirdiği ve engelin etkisinin çark ortasına kadar ilerlediği bulunmuştur.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF UNSTEADY FLOW IN RADIAL PUMP IMPELLERS

SUMMARY

In this study, unsteady flow in the radial pump impeller that is one of the most important element of a centrifugal pump was investigated experimentally. The impeller used in the study was tested in the special test rig. Air was used as fluid for the experiments. In the test rig, other elements of a pump like volute and diffuser have not been used. Unshrouded impeller has been used in the study.

In first step of the study, the measurements were performed with the uniform flow conditions at the exit of the impeller. The main goal of the study is to see how the pressure perturbations are moving inside the impeller. A non uniform flow condition at the exit of impeller was created by a fixed barrier at the exit of impeller.

In the first chapter, general information is given about radial pumps, volute and diffuser.

In the second chapter, literature survey is given which summarizes the previous studies which have been found in the literature.

In the third chapter, detailed explanations were made about the test rig and measurement methods which have been used during the tests. Performance of the impeller has been designated, head and static pressure distribution around the impeller have been measured too. Also dynamic measurements have been made during the tests. For dynamic measurements different pressure transducers have been used to find the best one. It was seen that variable reluctance Validyne transducer was the best one for the measurements. Experiments were performed with Validyne transducer at 3000 rpm.

In the fourth and fifth chapter, the results which are obtained from the experiments are shown and evaluated. The barrier which is located at the impeller exit changes the flow conditions at the exit of impeller and the disturbances propagate inside the impeller.

1. GİRİŞ

Pompalar, mekanik enerjiyi hidrolik enerjiye dönüştüren makinalardır. İstenen bir debiyi belli dönme sayısında istenen manometrik yüksekliğe basmak için kullanılırlar.

Bir santrifüj pompada, enerji transferi çark tarafından gerçekleştirilir. Birbirine paralel iki disk arasına radyal kanatlar konarak basit bir santrifüj çark elde edilebilir. İçi akışkanla dolu çark eksenini etrafında döndürülürse merkezkaç kuvvetlerinden dolayı çark içindeki akışkan dışarı çıkmaya çalışır. Çarkın bu prensibi ile bir yüzeyden emilen akışkan diğer yüzeyden basılır. Çark içindeki akışkan bir taraftan çark ile beraber dönerken diğer taraftan da çark kanatları arasında bağıl bir hareket yaparak çarkı terkeder. Akışkanın bu hareketlerinden dolayı oluşan hızlar U sürüklenme hızı ve W bağıl hız diye adlandırılır. Çarka dışarıdan bakan bir gözlemcinin gördüğü hız, C mutlak hız adını alır ve bağıl hız ile sürüklenme hızının vektörel toplamına eşittir.

Radyal pompa çarkından çıkan akışın çark çevresi boyunca toplanması ve çıkış borusuna iletilmesi salyangoz adı verilen toplama elemanı ile yapılır. Salyangoz içerisinde çarkın her bir sabit dönme sayısı için sadece tek bir çalışma noktasında, ideal olarak tasarım noktasında, çevresel olarak değişmeyen akış koşulları oluşur. Bu çalışma koşullarında çevresel olarak hız ve statik basınç sabit kalır. Tasarım debisinden düşük debilerde salyangoz içinde yavaşlayan akış oluşur ve statik basınç salyangoz dilinden çıkışa doğru artar. Tasarım debisinden büyük debilerde ise hızlanan akış oluşur ve statik basınç çevresel olarak azalır.

Santrifüj pompalarda önemli bir diğer eleman da difüzördür. Difüzörler kanatlı veya kanatsız olabilirler. Difüzörlerde akış alanının akış yönünde artması sonucunda kinetik enerjinin bir kısmı statik basınca dönüşür.

Bu çalışmada radyal pompa çarkı giriş-çıkış arasındaki akışı analiz etmek için hazırlanan deney düzeneğinde salyangoz ve difüzör gibi pompa elemanları kullanılmamıştır. Bunun nedeni bu elemanlar ile çarkın etkileşiminin olmasının istenmemesidir. Ayrıca deneylerde kullanılan çark, açık bir radyal pompa çarkıdır. U

tüpü manometreler, üç delikli basınç probu ve transdüserler kullanılarak farklı debilerde çark çıkışındaki basınç ölçümleri alınarak çark performansı belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada asıl hedeflerden biri olan çark çıkışına sabit bir engel yerleştirilerek bunun yarattığı rahatsızlığın çark içindeki ilerlemesi de incelenmiştir. Bu amaçla zamana bağlı basınç ölçümleri alınmış, bunlar spektrum analizi ile değerlendirilmiş ve kanat geçiş frekansı ve mil devri frekansındaki çalkantı genliklerinin en yüksek değerde olduğu görülmüştür. Kanat geçiş frekansındaki basınç titreşimleri ayrı bir önem verilerek değerlendirilmiştir. Kanat geçiş frekansı basınç çalkantıları, santrifüj çark çıkışındaki uniform olmayan akış koşullarından dolayı yaratılmaktadır. Bu çalkantıların bir kısmı çark çıkışındaki engelle çarkın etkileşimi sonucunda doğmaktadır. Ölçüm sonuçları dördüncü bölümde detaylı bir biçimde incelenmiştir.

Akışkanlar mekaniği problemlerinin çözümü için teorik, deneysel ve sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Bunların hepsinin birbirine göre avantajı ve dezavantajı vardır. Deneysel çalışma bize gerçek çalışma koşullarına benzer bir ortam yaratarak problemi çözme imkanı getirir. Deneysel çalışmaların dezavantajı ise deney tesisatı ve ölçüm cihazlarının pahalı olması ve bazı ölçümleri gerçekleştirmenin güçlüğüdür. Deneysel çalışmalar, günümüzde gittikçe daha da yaygınlaşan sayısal çalışmalar için önemli bir yardımcı kaynaktır.

Burada yapılan deneysel çalışmadan salyangoz tasarımında yararlanılabilir. Dizayn dışı çalışma koşulları için salyangoz hızda ve basınçta çevresel olarak düzgünsüzlük yaratmaktadır. Bu rahatsızlık çark içinde yayılarak çark performansında değişime neden olur. Bu değişimlerin pompa tasarımında göz önüne alınması hususunun değerlendirilmesi bu çalışmanın ana konusudur.

2. KAYNAK TARAMASI

Çark, pompa performansı ve verimini belirleyen en önemli elemanların başında gelmektedir. Türbomakina alanında yapılan çalışmalarda araştırmalar çark ve çark etrafı akış ile ilgili olarak deneysel, sayısal ve teorik olarak yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Çark içindeki akış yapısının belirlenmesi ve diğer pompa elemanlarının akışa yaptıkları etkiler araştırmalardaki temel konular olarak karşımıza çıkmaktadır.

Literatür taraması sonucunda, yapılan çalışmaların 2 ana grupta toplanabileceği görülmüştür. Bu gruplar, çark ve salyangozdaki basınç çalkantılarının incelenmesi ve radyal pompa performansını ve verimini iyileştirmeye yönelik çalışmalardır. Bu iki ana grupta aşağıda gösterildiği gibi alt bölümlere ayrılabilir:

Radyal Pompa Performansına ve Verime Etki Eden Faktörler

- Çark geometrisi
- Difüzörün etkisi

Çarktaki ve Salyangozdaki Basınç Çalkantılarının Analizi

- Çark-salyangoz dili etkileşimi
- Difüzörün etkisi
- Debinin basınç çalkantılarına etkileri
- Pompa içi akışı görünürleştirmeye dönük çalışmalar
- Engelin etkisi

Çalışmalar son yıllarda deneysel çalışmaların getirdiği zorluklardan dolayı ve gelişen bilgisayar teknolojisiyle birlikte ağırlıklı olarak sayısal yönelse de bunlar deneysel verilerle doğrulanmaya devam etmektedir. Deneysel çalışmalarda Laser Doppler Velocimetry (LDV), Particle Image Velocimetry (PIV) ve Hot Wire Anemometer (HWA) gibi akış görüntüleme yöntemleri kullanılmaktadır. Sayısal yöntemlerde de sonlu hacimler metodu, tekillik gibi yöntemlerden yararlanılmaktadır.

2.1 Radyal Pompa Performansına ve Verime Etki Eden Faktörlerle İlgili Çalışmalar

2.1.1 Çark geometrisinin etkisi

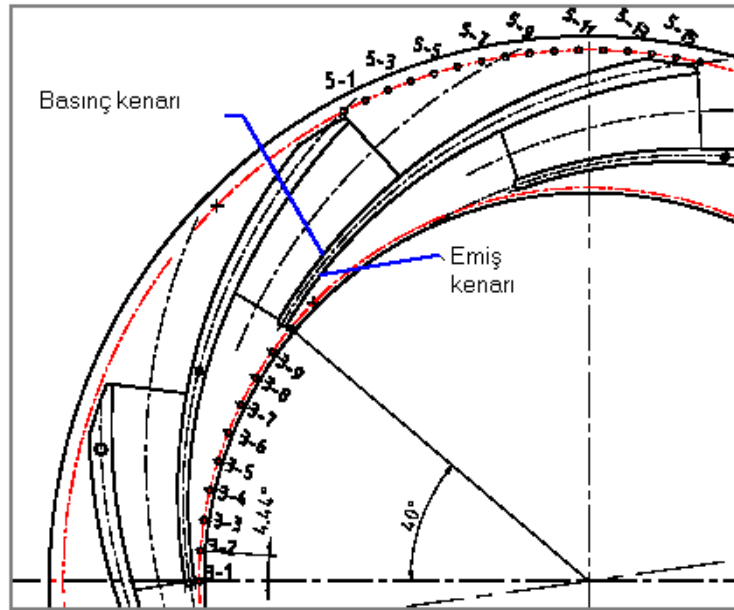
Tamm ve diğ. (2001) bir santrifüj pompanın toplam verimini meydana getiren verim bileşenlerini nümerik, teorik ve deneysel olarak değerlendirmişlerdir. Teorik yaklaşım, farklı kayıp modelleri ve kabullere dayanmaktadır. Pompanın $H(Q)$ ve $\eta(Q)$ karakteristik eğrileri farklı çark-salyangoz dili uzaklıkları ve farklı dönüş hızlarında sayısal yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır. Söz konusu çalışmada, yataklardaki farklı miktardaki radyal boşlukların yol açtığı disk sürtünme kayıpları ve kaçak kayıpları da dikkate alınmıştır. Deneysel sonuçlar ve sayısal sonuçlar arasında farklar vardır. Buna neden olarak çark kanallarından geçen kütleli debideki farklılık gösterilmiştir. Bunun da salyangozda çevresel olarak değişen statik basınç dağılımından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Toklu ve diğ. (1996) yayınladıkları çalışmada açık bir pompa çarkı tasarlanırken maksimum verim ve basma yüksekliğine erişmek için dikkat edilmesi gereken durumlara değinmişlerdir. Kanat genişliğinin küçük olması durumunda debi de küçük olmaktadır, çark genişliğinin artması hem debiyi hem de basma yüksekliğini arttırmaktadır. En iyi sonuç için çark genişliğinin $0,25-0,3 D_m$ (ortalama çark çapı) alınabileceği belirtilmiştir.

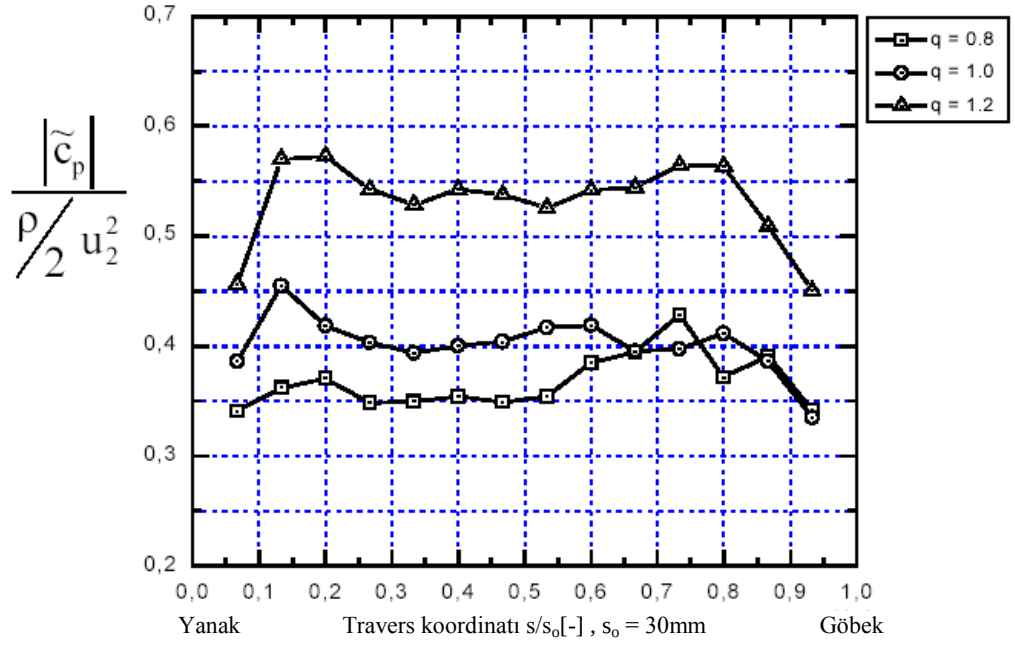
2.1.2 Difüzörün Etkisi

Aysheshim ve Stoffel (2000) kanatlı ve kanatsız difüzörlü bir santrifüj pompadaki 3 boyutlu akışı Navier Stokes denklemlerini çözerek sayısal bir çalışma ve çarkın performansı üzerindeki çark-difüzör etkileşiminin etkisini görmek için de deneysel bir çalışma yapmışlardır. Radyal çarkın akış yönündeki ve akışa ters yöndeki bölgelerinde farklı debilerde zamana bağlı ve zamana bağlı olmayan basınç ölçümleri alınmıştır. Çark çıkışı ve difüzör kanatlarının girişi arasındaki radyal boşluk çark yarıçapının %3' ü kadardır. Kanatlı difüzördeki ölçümler iki difüzör kanadı arasında kalan bölgenin girişi ve çıkışını kapsayan 9 farklı çevresel konumda gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.1). Ölçümlerde piezoelektrik transdüser ve basınç probu kullanılmıştır. Deneyler hava ile yapılmıştır. Akış parametrelerinin zamana bağlı ortalama dağılımları iki difüzör durumu için de karşılaştırılmıştır. Kanatlı difüzörle karşılaştırıldığında, kanatsız difüzördeki basınç çalkantılarının belirgin olarak çok

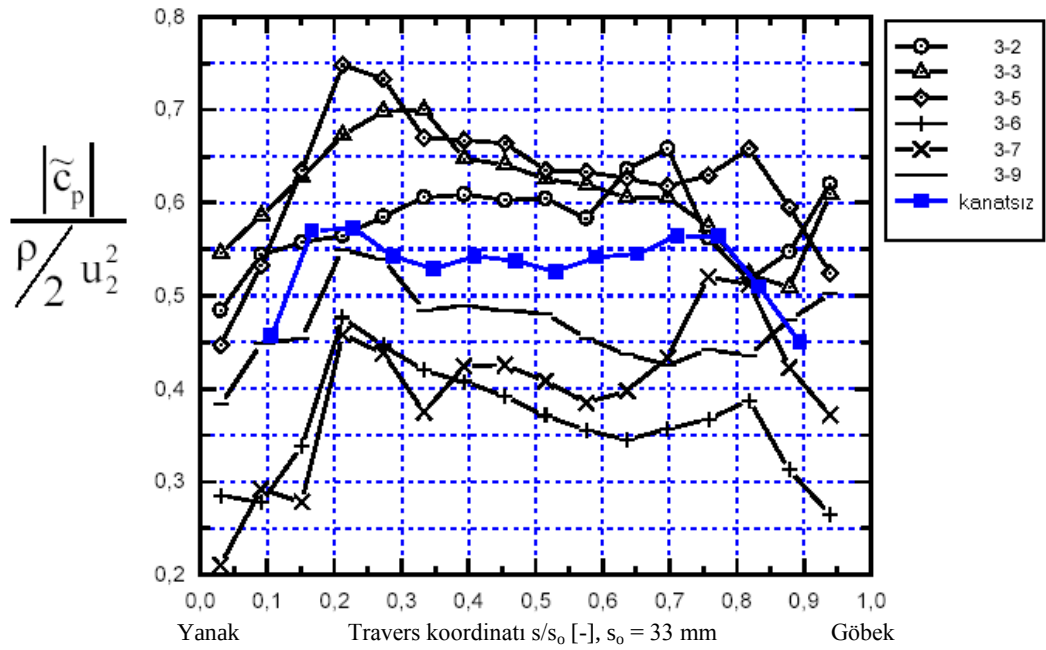
daha küçük olduğu görülmüştür. Şekil 2.2’de kanatsız bir difüzörde basınç çalkantılarının 3 farklı debi değeri için göbek yanak arasındaki transvers düzlemi boyunca değişimi gösterilmektedir. Buradaki q değeri, o andaki debi değerinin tasarım debisine oranını göstermektedir. Kanatlı difüzördeki basınç çalkantılarının daha büyük olması, difüzör kanatlarının varlığının akışın düzensizliğini arttırdığını göstermektedir. Difüzör kanatları emme yüzeyinde basınç çalkantıları daha büyüktür. Basınç çalkantılarının varlığı aynı zamanda debiye de bağlıdır. En yüksek çalkantılar büyük debilerde meydana gelmektedir. Bu durum, kanatlı difüzör için 6 farklı çevresel konumda basınç çalkantılarının değişiminin gösterildiği Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’de görülmektedir. Burada tasarım debisinde ve tasarım debisinin 1.2 katındaki debi değerinde basınç çalkantılarının değişimi gösterilmektedir. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’de aynı zamanda kanatsız difüzör durumundaki değişim de yer almaktadır. Görüldüğü gibi kanatlı difüzördeki değerler çoğu noktada kanatsız duruma göre daha büyüktür.



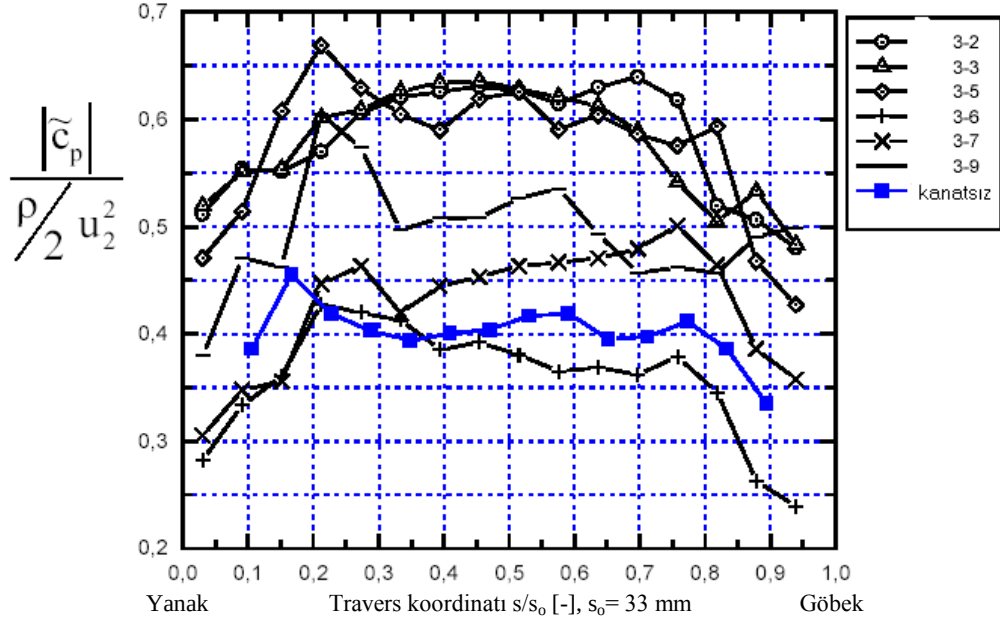
Şekil 2.1: Travers düzleminin yerleşimi (Aysheshim ve Stoffel 2000)



Şekil 2.2: Kanatsız difüzördeki basınç çalkantıları (Aysheshim ve Stoffel 2000)



Şekil 2.3: Tasarım debisinin 1.2 katındaki debide ($q=1.2$) basınç çalkantıları (Aysheshim ve Stoffel 2000)



Şekil 2.4: Tasarım debisinde ($q=1$) basınç çalkantıları (Aysheshim ve Stoffel 2000)

2.2 Çarktaki ve salyangozdaki basınç çalkantılarının analizini içeren çalışmalar

2.2.1 Çark-salyangoz dili etkileşimi

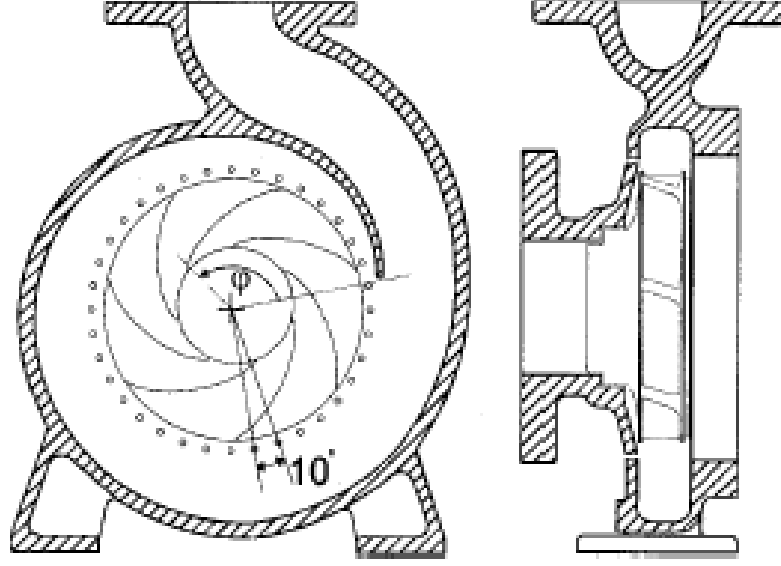
Suarez ve diğ. (2000) yaptıkları çalışmada çark-salyangoz arası etkileşimi, gürültü oluşumunu ve çark-salyangoz dili arasındaki uzaklığın bu duruma etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışma için kullanılan çarklar 400 mm ve 355 mm'lik çıkış çapına sahiptir. İki çark için yapılan gürültü seviyesi ölçümleri karşılaştırıldığında, bu değer 400 mm çaplı çarkta daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun asıl nedeni olarak da büyük çaplı çarkta çark-salyangoz dili arası mesafenin daha kısa olması gösterilmiştir. Yapılan sayısal çalışma için sonlu hacimler yöntemini temel olarak kullanan Fluent programı kullanılmıştır. Salyangoz dili yakınında statik basınç çalkantıları alınmıştır. Yapılan spektrum analizinde bu çalkantıların kanat geçiş frekansında (kgf) pik değerini aldığı ve debi arttığı zaman genlik değerinin de arttığı görülmüştür. Sonlu hacimler metodu ile çark içindeki akış analiz edilerek çark ve salyangoz dili arasındaki uzaklık azaldığında, yüksek debilerde gürültünün arttığı görülmüştür. Sonuçta sayısal çalışmalar ve deneysel çalışmalar uyumlu çıkmıştır.

Chu (1995) ve Dong (1997) adlı araştırmacılar bir santrifüj pompa salyangozunun dile yakın bölgesindeki akış alanını PIV yöntemi ile incelemişlerdir. Deneylerde

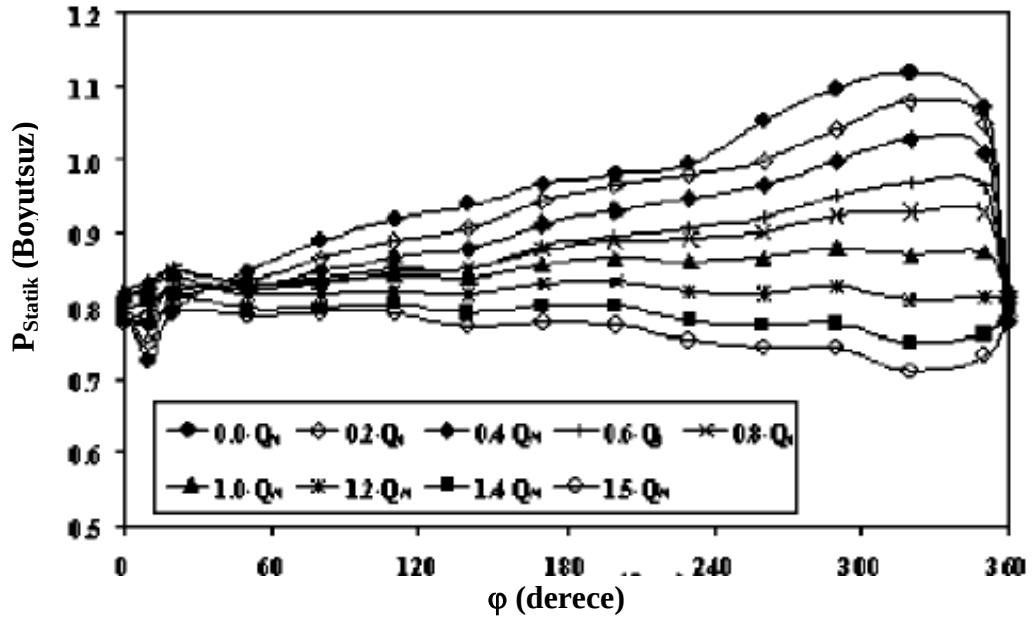
pompa debisi tasarım debisinin % 35 üzerinde tutulmuş ve dil ile çark arasındaki boşluk ise çark yarıçapının % 7 ve % 28'i arasında değişen farklı salyangozlar kullanılmıştır. Akış ayrıntılı bir biçimde ölçülmüş ve buradan gürültü üretimindeki ana kaynağın çarktan çıkan düzgün olmayan akışın dille etkileşimi olduğu sonucuna varılmıştır. Çark ile dil arasındaki mesafede yapılacak küçük bir artırımın gürültüyü belirgin bir biçimde azaltacağı sonucuna varılmıştır.

Parrando ve diğ. (2000) boyutsuz özgül hızı $n_q=25.5$ olan salyangozlu bir pompanın çark çıkışı civarındaki basınç değişimlerini ölçmüşlerdir. Bu çalışmada kanat geçiş frekansındaki (kgf) basınç çalkantıları ayrı bir önemle incelenmiştir. Bu amaçla, çark çıkışında salyangoz çevresine 36 adet basınç prizi açılmış (Şekil 2.5) ve piezoelektrik transdüserler kullanılarak basınç sinyalleri analiz edilmiştir. Burada Parrando ve arkadaşlarının amacı, konum ve debiye göre basınç dalgalanmalarının genlik ve faz gecikmesi hakkında bilgi sahibi olmaktır. Debi değeri tasarım debisinin %0 ve %160'ı arasında değiştirilerek denemeler yapılmıştır. Salyangoz dili ve çark arasında çark yarıçapının %10'u kadar bir boşluk vardır. Daha önce yapmış oldukları benzer çalışmada (Parrando ve diğ. 1996) bu değer çark yarıçapının %15.8'i mertebesinde olduğu belirtilmiştir. Salyangoz civarı statik basınç dağılımı, tasarım debisi etrafındaki noktalar için gayet düzgün yayılı çıkmıştır; buna karşın düşük debiler için akış yönünde artan, yüksek debiler için ise akış yönünde azalan tipte bir dağılım gözlenmiştir. Basınç dağılımındaki bu düzensizliği tasarım dışı koşullarda salyangozdaki akışın yavaşlaması ve hızlanmasıyla açıklamışlardır. Bu durum, Şekil 2.6'da görülebilir. Şekil 2.6'da yatay eksen salyangoz çevresindeki açısal konumu, dikey eksen ise farklı debiler için statik basınç değişimini göstermektedir. Salyangozdaki basınç dalgalanmalarının debiye bağlı olduğu belirtilmiştir. Genel olarak tasarım dışı koşullarda çalkantı genlikleri özellikle dil bölgesinde (0^0 - 50^0 arası) daha büyük çıkmıştır (Şekil 2.7) . Şekil 2.7'de yatay eksen salyangoz çevresindeki açısal konum, dikey eksen ise debinin tasarım debisine oranı verilmiştir, grafikte de bu debi değişimine ve konuma bağlı olarak salyangozdaki basınç değişimi gösterilmiştir. Alınan basınç sinyalleri fft algoritmasıyla da analiz edilmiştir. Şekil 2.8'de debiye ve konuma göre basıncın spektrumu gösterilmektedir. Şekil 2.8'den görülebileceği gibi kanat geçiş frekansındaki genlik değerleri belirgin olarak büyük çıkmıştır, yine mil devri frekansı da genliği küçük de olsa görülmektedir. Basınç çalkantılarının debiye bağlı değişimi Şekil 2.9'da da

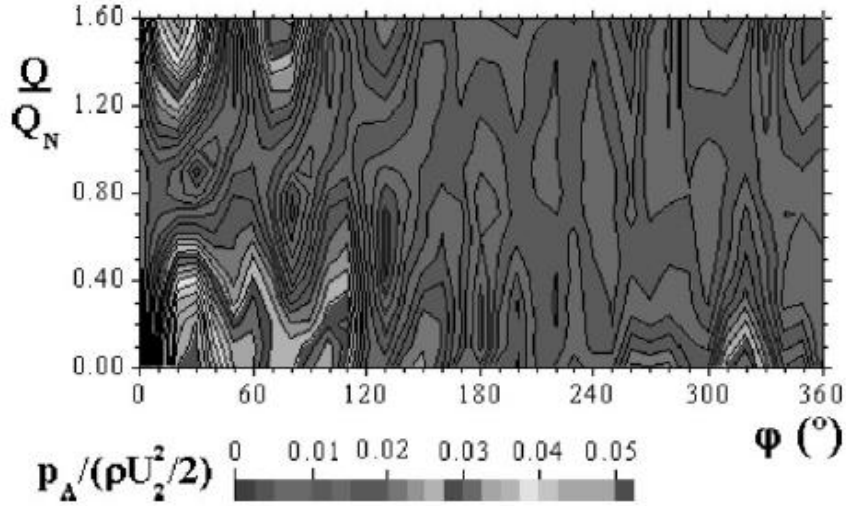
gösterilmiştir. Yapılan ölçümler sonunda, dil boşluğunu % 15.8'den %10'a düşürmenin maksimum basınç genliğini %50 arttırdığı görülmüştür.



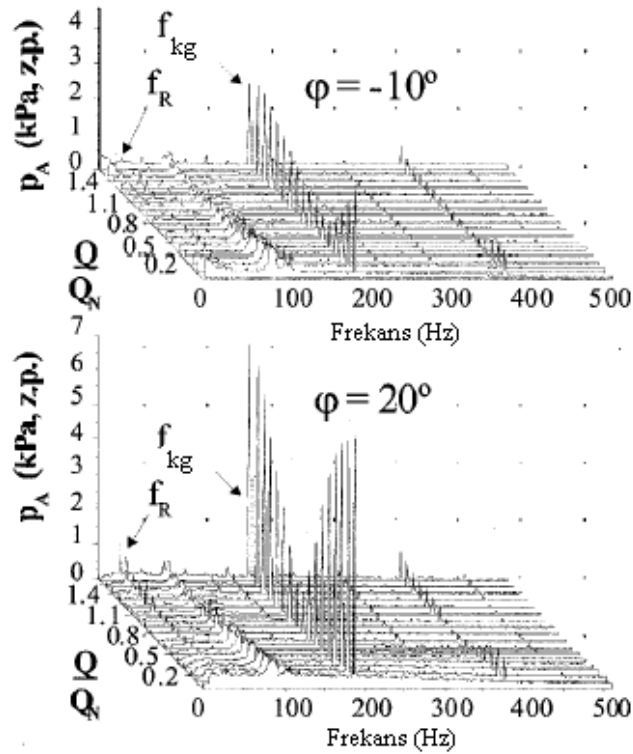
Şekil 2.5: Çark etrafındaki basınç prizlerinin konumları (Parrando ve diğ. 2000)



Şekil 2.6: Salyangoz etrafındaki statik basınç dağılımı (Parrando ve diğ. 2000)



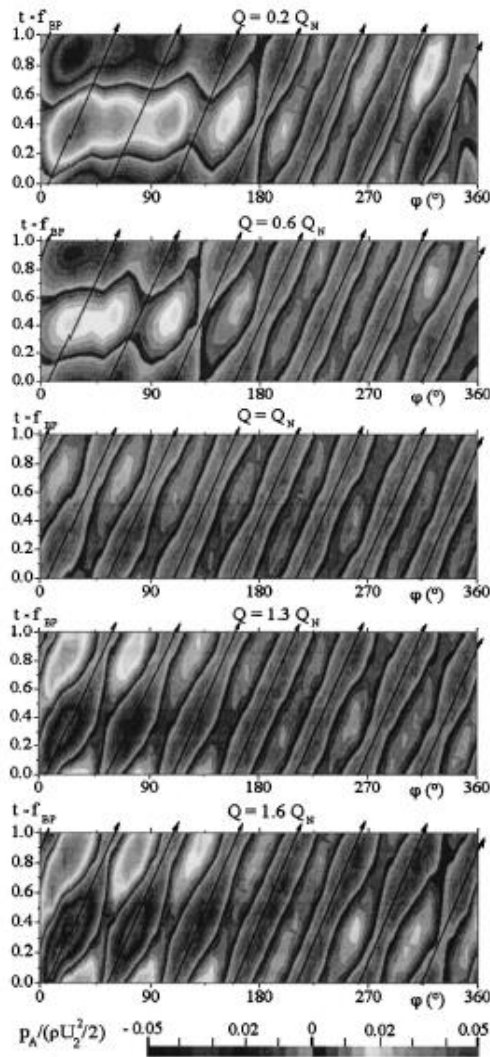
Şekil 2.7: Kgf'deki basınç çalkantılarının genliğinin salyangoz etrafında debi ile değişimi (Parrando ve diğ. 2000)



Şekil 2.8: Debiye ve konuma göre basıncın spektrum analizi (Parrando ve diğ. 2000)

Jeon (2003) yaptığı çalışmayla dönme hızı, debi, çark-dil uzaklığı ve kanat sayısı gibi çeşitli dizayn parametrelerinin santrifüj pompa çarkının performansı ve pompanın gürültü seviyesi üzerine olan etkilerini incelemiştir. Sürtünmesiz ve sıkıştırılamaz bir akış kabulü yapılarak, kanadın her bir elemanına etki eden kuvvet daimi olmayan Bernoulli denklemi ile hesaplanmıştır. Gürültü oluşumunu

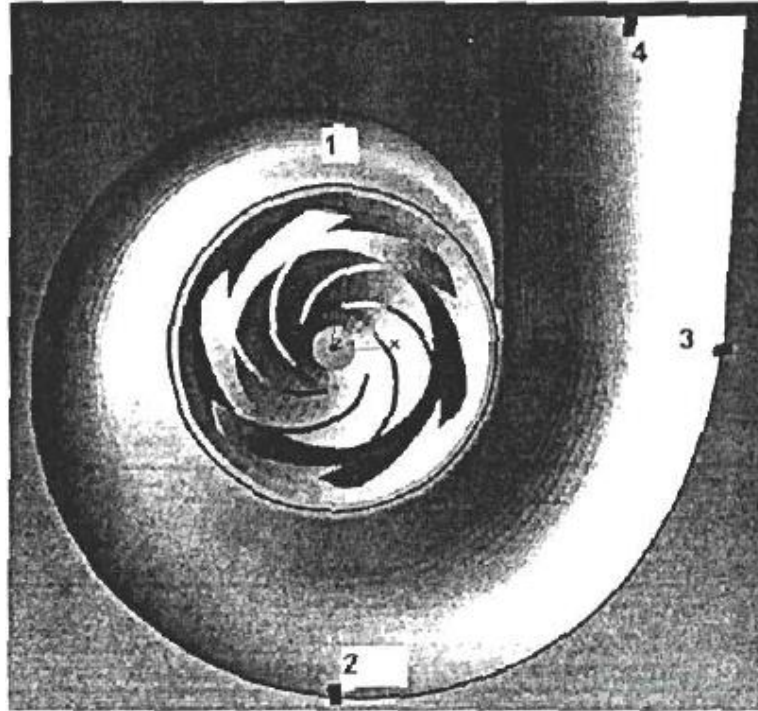
modellemek için sadece bir çark ve engelden oluşan sistem göz önüne alınmıştır. Santrifüj çarktaki akış alanı ayrık vorteks metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Akış alanı çarkın bir tam dönüşünün otuzda birine karşılık gelen zaman adımlarında elde edilmiştir. Çark kanatlarından kopan vorteksler, çark engeli geçerken yön değiştirmektedir. Çark engele yaklaştığı zaman kanat ucunda daha büyük şiddette ters dönme yönlü vorteksler oluşmaktadır. Dil çark arası mesafesinin azalmasının gürültüyü arttırdığı görülmüştür. Kanat geçiş frekansındaki (kgf) gürültü seviyesi kanat sayısı arttıkça artmaktadır. Çark dil arası uzaklığın artması da daha yüksek frekanslarda basınç genliğini azaltmaktadır.



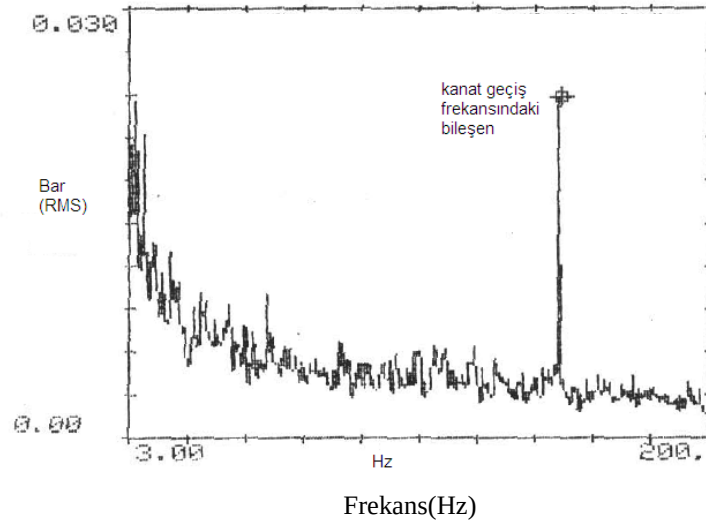
Şekil 2.9: Farklı debilerde iki kanat aralığındaki zamana bağlı basınç dağılımı (Parrando ve diğ. 2000)

Timouchev ve diğ. (2003) yaptıkları çalışmada yüksek özgül hızlı bir santrifüj pompada çark etrafındaki akışı deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Deneysel

çalışmada 4 farklı noktada basınç ölçümleri yapılmıştır. Bu noktaların konumları Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Ölçülen değerlere bakıldığında zaman salyangoz diline en yakın olan 1 numaralı noktada genlik değeri en yüksek olan basınç çalkantıları ölçülmüştür (Tablo 2.1). Şekil 2.11'de 1 numaralı noktadan alınan basınç sinyalinin spektrumu gösterilmiştir. Kanat geçiş frekansındaki genlik değeri maksimum tepe olarak görülmektedir (Şekil 2.11). Sayısal yaklaşım da benzer eğilimleri vermiş olup bunun yanında 1 nolu noktada ölçülen basınçların genlik değerlerinin salyangozda yer alan 3 ve 4 numaralı noktalardaki basınçlarınkinden 5 kat fazla olduğu bulunmuştur. İki boyutlu sayısal yaklaşım ile elde edilen salyangozdaki basınç dağılımı Şekil 2.12'de verilmiştir. Tüm noktalardaki basınç çalkantılarının değerleri Tablo 2.1'de gösterilmektedir. Özgül hız yüksek olduğu için pompa salyangozunun içindeki akış üç boyutlu ve oldukça karmaşıktır. Salyangozdaki karmaşık akış yapısı çark-salyangoz dili arası hidrodinamik etkileri artırarak salyangoz içi basınç dalgalanmalarının şiddetini arttırmaktadır. Üç boyutlu yaklaşım iki boyutluya göre daha iyi sonuç vermiştir (Şekil 2.13).



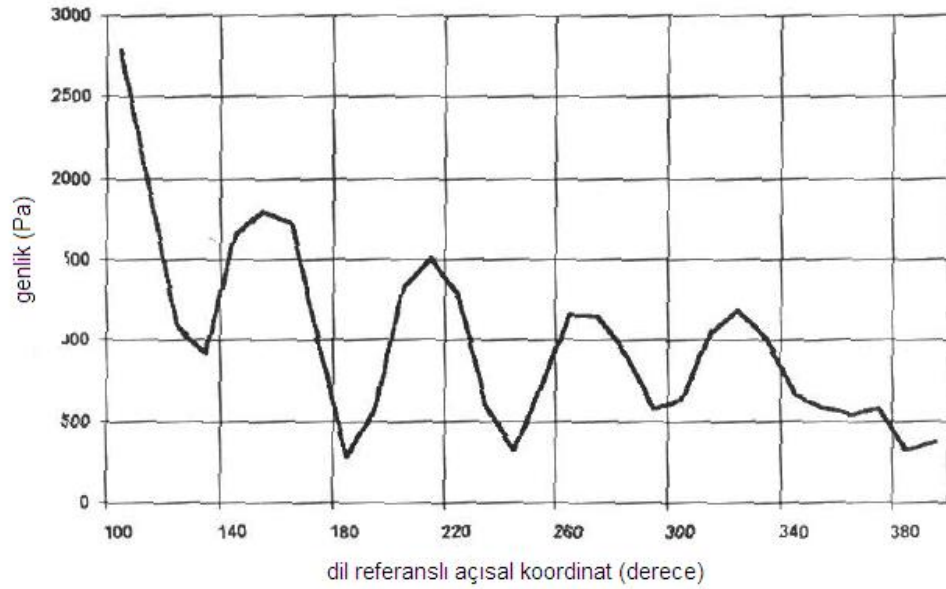
Şekil 2.10: Basınç ölçüm noktalarının yerleri (Timouchev ve diğ. 2003)



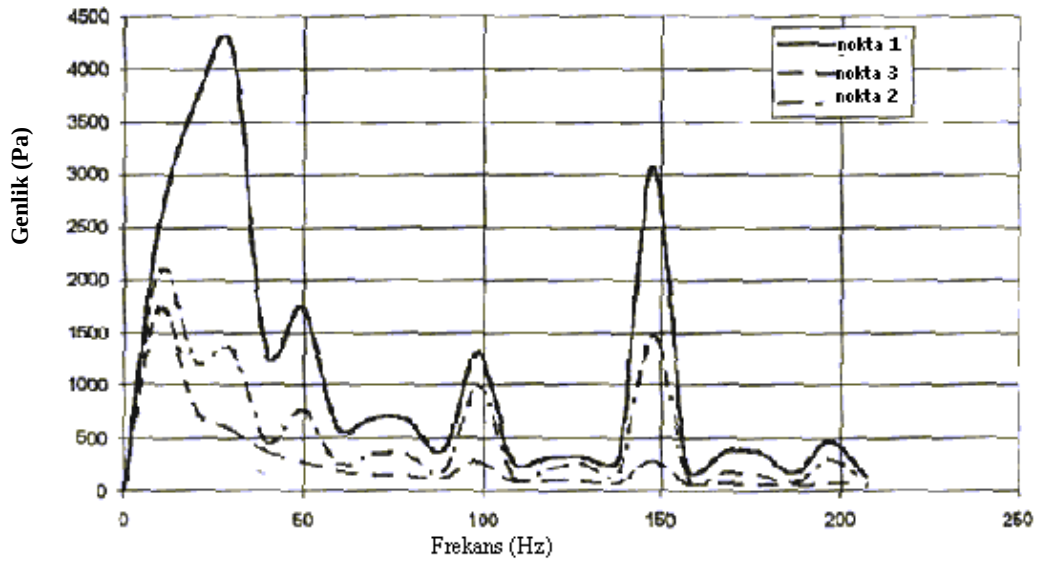
Şekil 2.11: Bir numaralı noktadan alınan basınç sinyalinin spektrumu (Timouchev ve diğ. 2003)

Tablo 2.1: Basınç çalkantılarının değerleri (Timouchev ve diğ. 2003)

Nokta	Toplam basınç çalkantısı (bar RMS)	Kgf'deki bileşen (bar RMS)
1	0,1	0,0238
2	0,007	0,00005
3	0,0425	0,0049
4	0,0440	0,0047



Şekil 2.12: Kgf'deki basınç çalkantı genliğinin iki boyutlu yöntemle hesaplanmış salyangoz çevresince dağılımı (Timouchev ve diğ. 2003)



Şekil 2.13: Üç boyutlu yaklaşımla hesaplanmış genlik spektrumları (Timouchev ve diğ. 2003)

Timouchev ve Tourret (2001) adlı araştırmacılar Harmony adlı bir yazılım programını kullanarak pompadaki akışı irdelemişlerdir. Bu çalışmada salyangozun ve kanatlı difüzörün basınç alanı üzerindeki etkileri ile ilgilenilmiştir. Kanat geçiş frekansındaki basınç rahatsızlıklarının çark çıkışındaki akış parametrelerinin uyumsuzluğundan doğduğu belirtilmiştir. Kanat geçiş frekansı basınç çalkantılarının genliğinin pek çok faktöre bağlı olduğu belirlenmiştir. Bunlar kanatların şekli, sayısı ve konumu, salyangozun konumu, çark ve salyangoz dili veya kanatlı difüzör arası mesafe olarak sayılabilir. Harmony isimli programda kullanılan modelde çark içi akışın difüzörden etkilenmediği varsayımı yapılmıştır. Söz konusu çalışmada radyal boşluğun kanat geçiş frekansındaki basınç çalkantılarına olan etkisi de gösterilmiştir. Dilin geometrisiyle oynamanın kanat geçiş frekansı genliğini düşürdüğü görülmüştür.

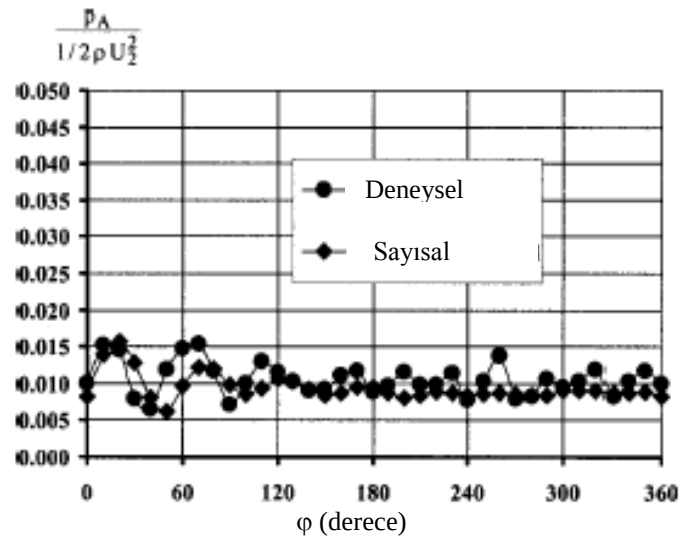
2.2.2 Difüzörün etkisi

Akhras ve diğ. (2001) kanatlı difüzörün, tasarım noktasında çalışma durumu için, çark içindeki akışa olan etkilerini incelemişlerdir. Kanatlı difüzörde kaçış kenarındaki vorteks oluşumu santrifüj pompa için düşük verim demektir ve aynı zamanda kararsızlık kaynağı demektir. Çarktaki akış, akış yönündeki asimetrik koşullardan etkilenebilir, bu durumun da ekstra akış süreksizliği ve kararsızlığı ile sonuçlanabileceği belirtilmiştir. Çalışmada kanatlar arasındaki akış LDA yöntemi ile ölçülmüştür. Sonuçlar çark difüzör arası etkileşimin çark çıkışıyla sınırlı olduğu ve

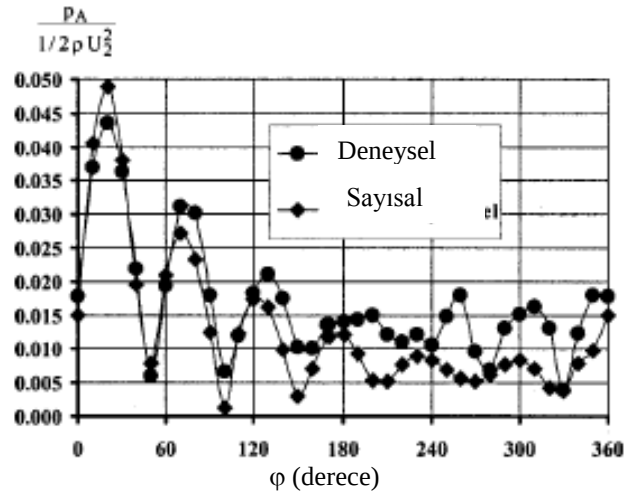
çark içi akış üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmadığını göstermiştir. Difüzör kanatları çark çıkışındaki akışı etkilemektedir ve difüzör kanalının ilk bölümünde çark çıkışındaki akış düzgünsüzlüğü kaybolmakta, ikinci bölümünde ise çarka bağlı periyodiklik korunmaktadır.

2.2.3 Debinin basınç çalkantılarına etkileri

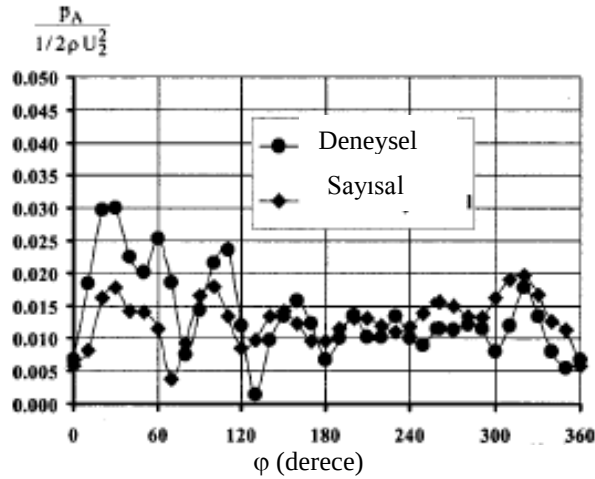
Gonzalez ve diğ. (2002), santrifüj pompa içerisindeki çark-salyangoz etkileşiminin yol açtığı daimi olmayan akış yapısını sayısal yöntem kullanarak belirlemişlerdir. Sayısal çalışmada daimi olmayan Navier Stokes denklemleri çözülmüş ve hareketli-kayan-çözüm ağı tekniği çark-salyangoz etkileşimini değerlendirmek için uygulanmıştır. Deneysel ve sayısal sonuçların iyi bir uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Deneysel ölçümlerden tasarım debisinde dilin akış yapısına dinamik bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Tasarım dışı çalışma koşulları için dilin akış yapısı üzerinde oldukça önemli bir etkisi vardır. Yapılan çalışmalarda tasarım debisi ve bu debiden daha büyük debilerde kanat geçiş frekansındaki basınç çalkantıları için deneysel ve nümerik sonuçların iyi bir uyum içerisinde olduğu görülmüştür (Şekil 2.14 ve Şekil 2.15). Düşük debilerde ise özellikle dil bölgesi civarında salyangoz kanalının ilk üçte birlik kısmında farklar olduğu gözlenmiştir (Şekil 2.16).



Şekil 2.14: Tasarım debisinde kgf'deki basınç çalkantıları, Dil $\phi = 0^\circ$ konumunda (Gonzalez ve diğ. 2002)



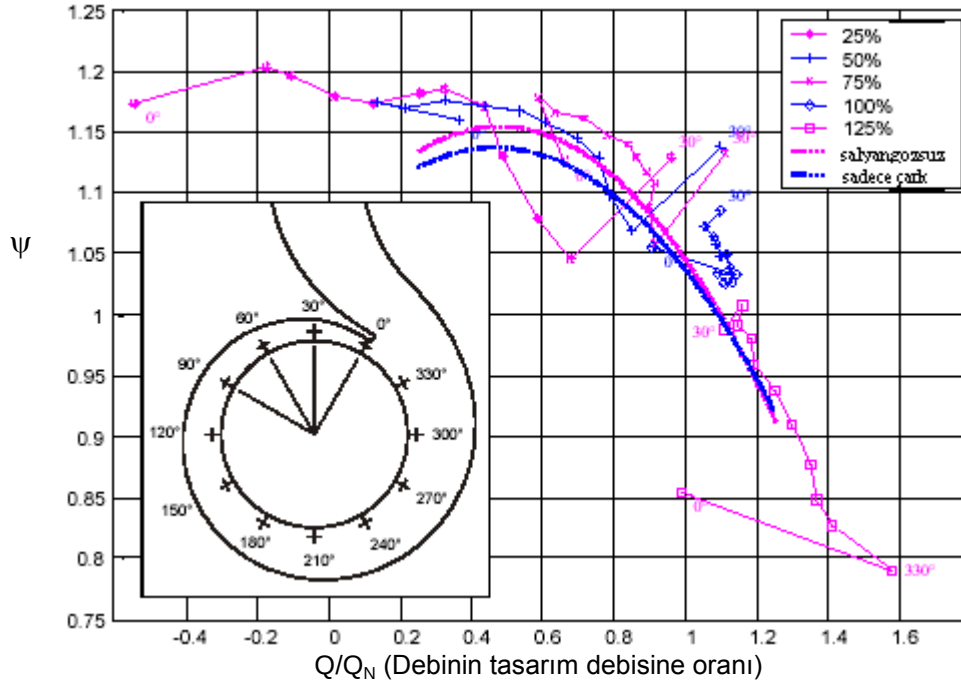
Şekil 2.15: Tasarım debisinin 1.5 katındaki debide kgf'deki basınç çalkantıları, Dil $\phi= 0^\circ$ konumunda (Gonzalez ve diğ. 2002)



Şekil 2.16: Tasarım debisinin 0.5 katındaki debide kgf'deki basınç çalkantıları, Dil $\phi= 0^\circ$ konumunda (Gonzalez ve diğ. 2002)

Stoffel ve Meschkat (2002) , hem salyangozlu hem de salyangozsuz bir pompada hız, basınç, akış açısı ölçümleri yapmışlardır. Bu çalışmalarda akış analizi için HWA (sıcak tel anemometresi) ve basınç probu kullanılmıştır. Salyangozlu pompada çark çıkışında 12 çevresel pozisyonda ölçüm deliği açılmıştır. Her bir ölçüm deliğinden alınan değerler ile pompanın yük-debi eğrisi çizilmiştir (Şekil 2.17). Salyangoz, çarktan çıkan akış üzerine çevresel konuma ve çalışma noktasına bağlı olarak değişen bir basınç uygulamaktadır. Bu nedenle farklı yük-debi eğrileri elde edilmiştir (Şekil 2.17). Nitekim salyangozsuz pompa çarkı çıkışında yapılan ölçümlerde karakteristik eğri (yük-debi eğrisi) ölçüm deliğinin pozisyonuna bağlı olmayıp, tek bir egridir. Salyangozlu ile salyangozsuz durum arasındaki farkın temel nedeni salyangozun çark içindeki akışı etkilemesidir. Pompa tasarım noktasında çalıştırılır

ve salyangoz geometrisi de iyi olarak tasarlanırsa çark çıkışındaki akış salyangozdaki çevresel konumdan bağımsız olacaktır. Tasarım dışı çalışma noktasında salyangozdaki akış koşullarının çarktan çıkan akışla uyum göstermediği, sonuçta çarkta çevresel olarak uniform olmayan basınç ve hız dağılımına yol açtığı belirtilmiştir. Tasarım durumundaki çalışma koşulları için yük-debi eğrileri çok az bir saçınım göstermektedir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17: Çarkın yük-debi eğrisi (Stoffel ve Meschkat 2002)

Kaupert ve Staubli (1999) çift spiral salyangoza sahip yüksek özgül hızlı bir santrifüj pompa çarkında daimi olmayan basınç alanını incelemişlerdir. Bu amaçla 25 adet piyezoresistif basınç transdüserini çarkın iki kanadının arasında kalan bölgeye yerleştirerek ve telemetri sistemi ile basınç ölçümleri almışlardır. Değişen debinin basınç ölçme elemanları üzerindeki etkisi basınç çalkantı büyüklüğü ve faz değişimi terimleriyle değerlendirilmiştir. Çark salyangoz etkileşiminden kaynaklanan basınç çalkantıları, debi tasarım debisinden farklı olduğunda ve çark çıkışına yaklaşıldığında büyümektedir. Kısmi yüklerde, bu basınç çalkantılarının büyüklüğünün pompanın basma yüksekliğinin % 35'i mertebelerine ulaştığı bulunmuştur.

Yaman (2005) yaptığı deneysel çalışmada farklı özgül hıza sahip 5 adet merkezkaç pompanın basma borusundaki basınç çalkantılarını incelemiştir. Basınç çalkantıları

spektrum analizi (fft) yapılarak değerlendirilmiştir ve akıştaki titreşim karakteristiği çıkarılmıştır. Pompa, optimum nokta civarında çalıştırılarak alınan ölçümlerin fft değerlendirmesi yapıldığında, mil devri ve katlarında basınç çalkantılarının tepeden tepeye genliklerinin açıkça seçilebildiği ve kanat geçiş frekansına yaklaştıkça basınç genliği değerinin azaldığı görülmüştür. En yüksek genlikler kanat geçiş frekansında görülmüştür. Pompanın çalışma noktası kapalı vanaya doğru kaydırıldığında basınç titreşimleri daha çok kanat geçiş frekansında görülmüştür, bunların yüksek harmonikleri de kendini göstermiş, fakat diğer frekanslardaki titreşim genlikleri küçük çıkmıştır. Açık vana durumunda ise genlikler yalnız kanat geçiş frekansında değil mil devri ve katlarına da dağılmış durumdadır. Genlikler kapalı vanadan açık vanaya doğru artış göstermiştir. Ayrıca çark çıkışındaki basınç titreşimlerinin tepeden tepeye genliklerinin pompanın manometrik basma yüksekliğine oranının % 0.5 ile % 5'i arasında değer aldığı görülmüştür. Çark çıkış genişliğinin düşük olması durumunda baskın frekansın kanat geçiş frekansına eşit olduğu belirtilmiştir. Bir çözüm olarak, pompada titreşimler mil devri ve kanat geçiş frekansında toplanırsa çark çapını biraz tornalayarak çark çıkışındaki basınç genliklerinin azaltılabileceği belirtilmiştir.

Parrando ve diğ. (2003) geliştirdikleri bir akustik modelle kanat geçiş frekansında oluşan çalkantılar üzerinde kanat dil etkileşiminin önemini değerlendirmişlerdir. Daha önce yapmış oldukları deneysel çalışmadan (Parrando ve diğ. 2002) yararlanarak, elde ettikleri sonuçları kurdukları modelden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Kanat dil etkileşiminin, kanat geçiş frekansında salyangozdaki basınç alanı içinde ses kaynağı yoluyla benzetilebildiği gösterilmiştir. Tasarım dışı koşullarda çalışma halinde beklenildiği şekilde kanat geçiş frekansında kanat-dil etkileşimindeki basınç dalgalanmaları belirgin olarak gözlemlenmiştir.

2.2.4 Pompa içi akışı görünürleştirmeye yönelik çalışmalar

Choi ve diğ. (2003) sıcak tel problemleri (HWA) ve yüzeye yerleştirdikleri basınç problemlerini kullanarak merkezkaç pompa çarkındaki akış kararsızlıklarını ve gürültü seviyesini incelemişlerdir. Pompada salyangoz ve difüzör yoktur; bu sayede salyangoz dilinin neden olduğu gürültü de engellenmiştir. Bu çalışmada kanat geçiş frekansı etkilerinden çok akış alanı ve gürültü üzerinde durulmuştur. Çalışmanın ana amacı, daimi olmayan akış alanı ile ilgili temel bilgiler elde etmektir. Elde edilen hız

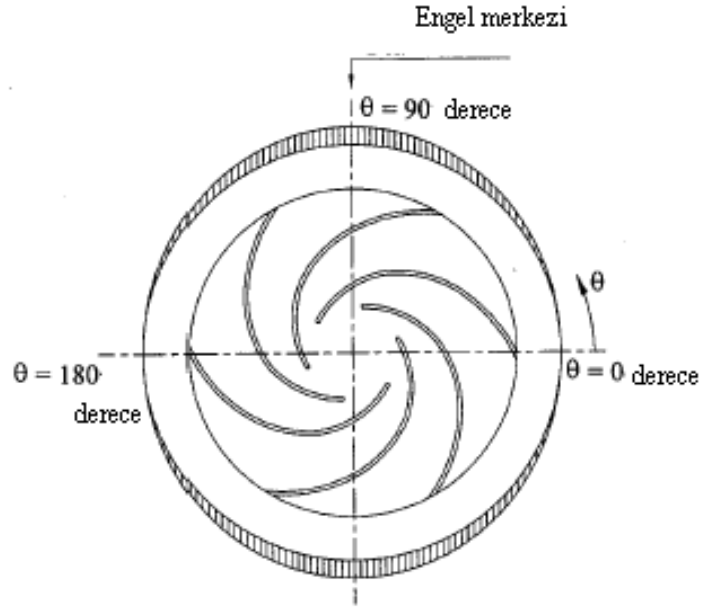
ve basınç sinyallerinin değerlendirilmesi sonucunda, çark kanatlarının arasındaki bölgelerde oluşan jet ard iz akışının, her bir kanadın çıkış kenarında vorteksler oluşmasına neden olduğu görülmüştür. Oluşan bu vorteksler kararsızdır ve bitişindeki kanatlar arasındaki bölgelerden çıkan akışı da etkileyip kararsız hale getirmektedir. Kanatlar arasındaki kararsız akış, kanat yüzeylerinde periyodik basınç çalkantılarına neden olmaktadır. Alınan basınç sinyalleri spektrum analizi ile incelendiğinde baskın frekansın yine kanat geçiş frekansı olduğu görülmüştür.

El Hajem ve diğ. (2001) kanatlı difüzörlü bir santrifüj pompada LDV yöntemini kullanarak çark ve difüzör kanatları arası etkileşimi deneysel olarak incelemişlerdir. Pompanın tasarım noktasında difüzör kanatlarının çark içindeki akışa sınırlı bir etki yaptığı belirtilmiştir. Deneyler tasarım debisinde ve tasarım debisinin 0.8 katındaki debide yapılmıştır. LDV sistemi mavi (488 nm) ve yeşil (514.5 nm) dalga boylarında 2 ışın yayan 5 W lık bir argon iyon lazerinden ve üç ışın elde etmek için kullanılan 310 mm odaklı lens ve modüler optik üniteden oluşmaktadır. Sonuç olarak difüzörün çark içi akışa etkisinin çok az olduğu, çark çıkışında karışma bölgesindeki akışın difüzör kanatlarından etkilendiği ve bu etkileşimin debiye bağlı olduğu bulunmuştur.

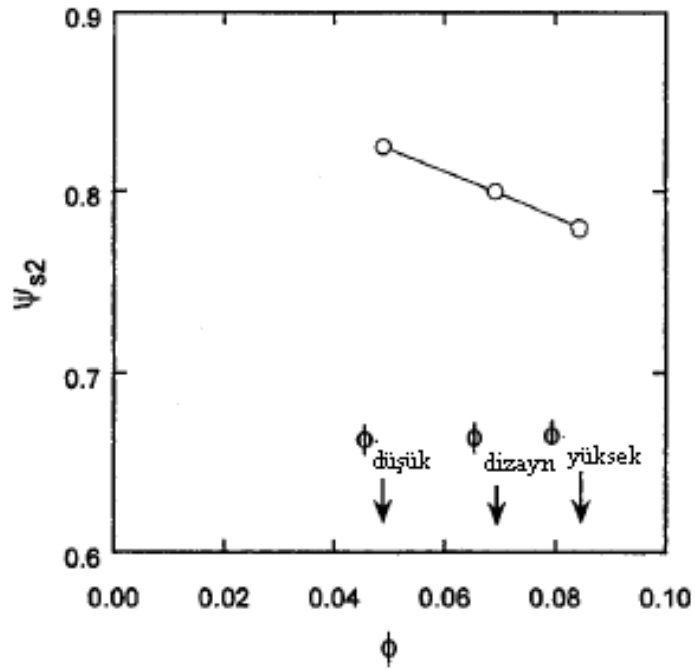
2.2.5 Engelin Etkisi

Hong ve Kang (2001) yaptıkları çalışmada bir kanatsız difüzörün çıkışına sinüsoidal biçimde yüksekliği değişen bir engel (Şekil 2.18) yerleştirerek, difüzör çıkışında oluşturulan akış (basınç) rahatsızlığının santrifüj pompanın difüzörünün ve çarkının performansına nasıl etkidiğini araştırmışlardır. Difüzör çıkışına konulan engel 180° lik bir periyoda sahiptir ve 0,5 mm kalınlıktadır. Engelin yüksekliği 0 mm ve maksimum değer olan 14 mm arasında değişim göstermektedir. Hız ve statik basınç ölçümleri çark çıkışından 3mm uzaklıktaki noktadan alınıyor. Engelsiz durumdaki çark çıkışındaki statik basıncın çevresel değişimleri düşük debide maksimum, yüksek debide minimum ortalama değerdedir (Şekil 2.19). Engelli durumda ölçümler sadece tasarım debisinde gerçekleştirilmiştir. Engelli durumda göbek tarafında radyal hız büyük bir değişime uğrarken yanak tarafında hemen hemen sabit kalmıştır. Bu durum göbek kenarında engelin yüksekliğinin tıkanmasıyla açıklanıyor. Çark çıkışında engelli durumda alınan hız ve basınç ölçümü sonuçlarının (Şekil 2.20 ve Şekil 2.21) salyangozlu durumdaki sonuçlarla çok uyumlu olduğu da belirtiliyor.

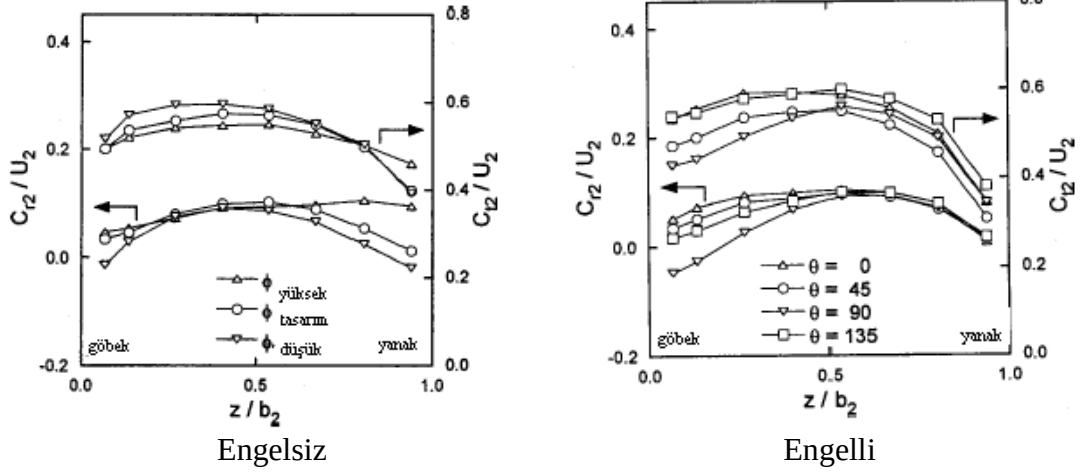
Ayrıca mevcut çalışma, kurulan teorik bir modelle de karşılaştırılmıştır. Sonuçta toplam ve statik basınç için değerlerin birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.



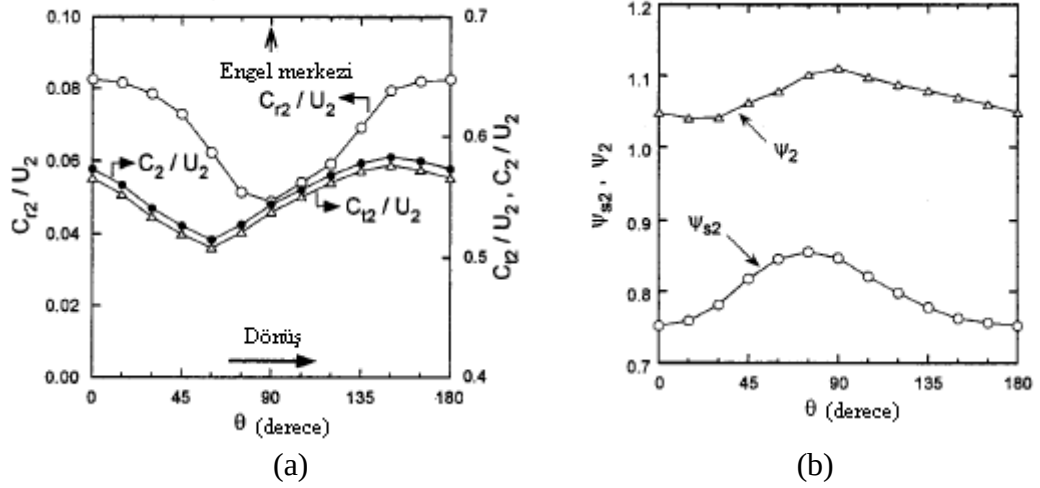
Şekil 2.18: Difüzör çıkışına yerleştirilen sinüsoidal engelin çevresel konumu (Hong ve Kang 2001)



Şekil 2.19: Engelsiz durumda çark çıkışı statik basınç dağılımı (Hong ve Kang 2001)



Şekil 2.20: Engelsiz ve engelli durumlarda çark çıkışındaki teğetsel ve radyal hızların değişimi (Hong ve Kang 2001)



Şekil 2.21: Engelli durumda a) radyal, teğetsel ve mutlak hızların çark çevresindeki değişimi b) statik ve toplam basıncın değişimi (Hong ve Kang 2001)

2.3 Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür taramasının sonuçları aşağıda verilmektedir:

1) Salyangoz, kanatlı difüzör, kanatsız difüzör ve salyangoz dilinin çark çıkışında neden olduğu akış rahatsızlıklarının pompanın çarktan sonraki elemanlarının performanslarına ve gürültü oluşumuna nasıl etki ettiği literatürde detaylı olarak çalışılmıştır. Bu çalışmalarda özellikle çark ile salyangoz dili arasındaki etkileşim üzerinde çok durulmuştur. Çark ile salyangoz dili arası mesafenin artması basınç çalkantıları genliğinin azalmasına yol açmıştır.

2) Bir çalışmada, çark çıkışında oluşan basınç rahatsızlıklarının çark içine yayılarak çark performansını etkilemediği görülmüştür.

3) Yukarıda açıklanan sonuçlar göz önüne alındığında çark çıkışındaki akış koşullarının çark içi akışa etkilerine ve dolayısıyla çark performansına etkilerinin bilinmesine gerek vardır. Bu söz konusu çalışmanın ana konusudur.

3. DENEY DÜZENEGİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

3.1 Deney Düzeneği İle İlgili Açıklamalar

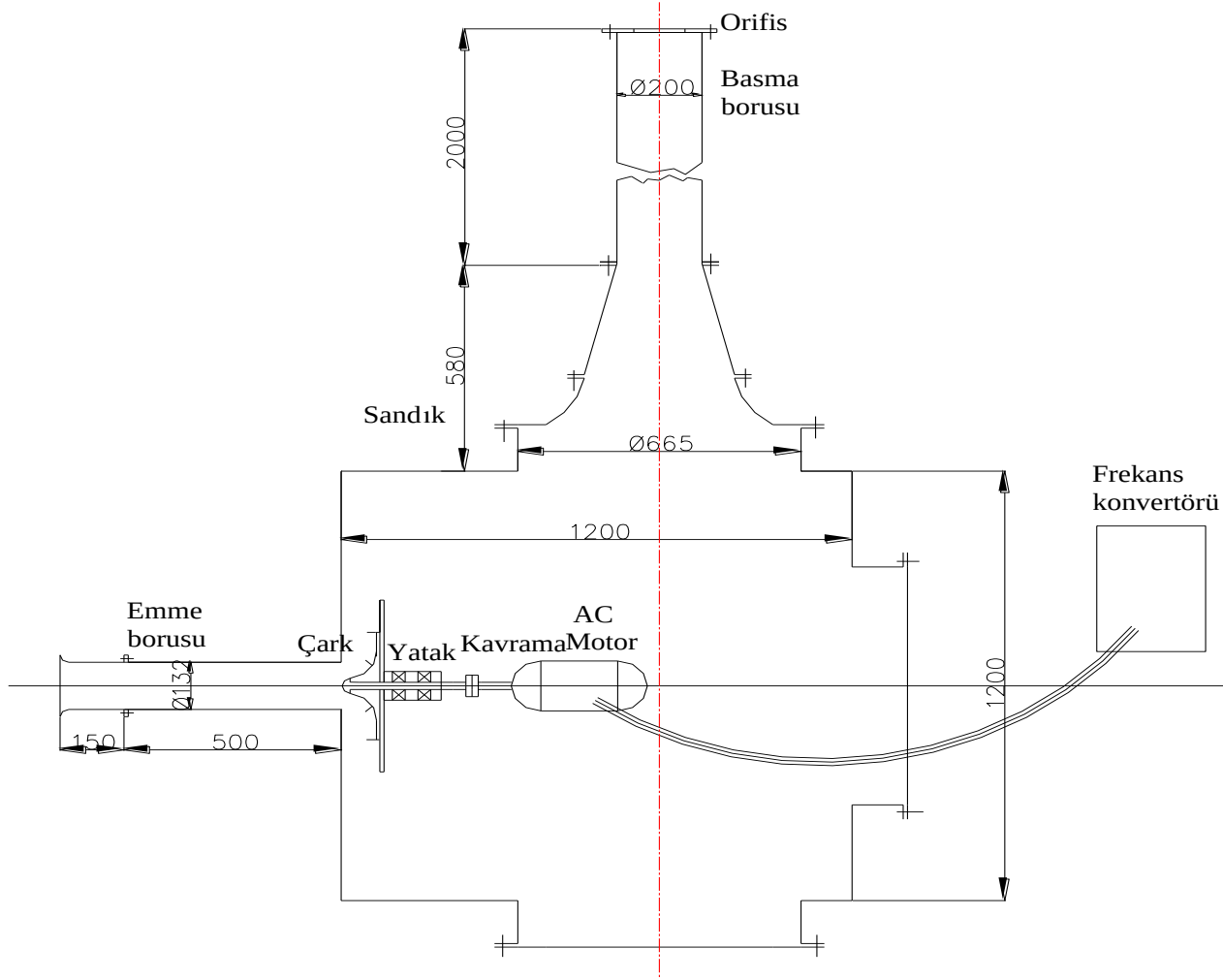
Radyal pompa çarkındaki daimi olmayan akışın incelenmesi amacıyla yürütülen bu çalışmada deneyler, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Hidromekanik Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deney düzeneğinin genel görünüşü Şekil 3.1'de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi atmosferden emme borusu ile alınan hava, açık radyal çarka girip buradan geçtikten sonra bir sandığa girmekte ve sandığa bağlı olan bir çıkış borusu ile tekrar dış ortama çıkmaktadır. Ek A'da deney tesisatı ve elemanlarının resimleri yer almaktadır.

Tesisat şemasında da görülen sandık 120x120x120 cm boyutlarında kapalı bir hacimdir. Radyal pompanın basmış olduğu hava, bu sandık içine girip durgunlaştıktan sonra, 20 cm çapındaki bir çıkış borusu ile tekrar atmosfere atılmaktadır. Çıkış borusunun ağız kısmına konan farklı çaptaki orifislerle debi ölçülmektedir.

Radyal pompa çarkı, 3 kW güce sahip, 0-3000 dev/dak arasında dönebilecek şekilde ayarlanmış hız kontrollü bir AC elektrik motoru tarafından tahrik edilmektedir. AC elektrik motoru frekans konverterine bağlanmıştır. Bu sayede çarkın dönüş hızı istenen değere ayarlanabilmektedir.

3.2 Yapılan Ölçümler ve Kullanılan Ölçme Aletleri

Bu çalışma kapsamında, çark çıkışında uniform statik basınç dağılımı olması durumu ve çark çıkışına duran bir engel konarak uniform olmayan statik basınç dağılımının olduğu durumlar için ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin büyük çoğunluğu 3000 dev/dak için yapılmıştır, bazı ölçümler ise 1800 dev/dak ile yapılmıştır. Çarkın performansının belirlenmesi amacıyla öncelikle çark çıkışında statik ve toplam basınç ölçümleri yapılmıştır. Basma yüksekliği (H_m), verim (η) ve güç (P_e) değerlerinin debiyle (Q) değişimi belirlenmiştir.



Şekil 3.1: Deney düzeneğinin genel görüntüsü

3.2.1 Devir Sayısının Ölçümü :

Çarkın dönüş hızının doğruluğunu kontrol etmek için stroboskop kullanılmıştır.

Kullanılan alet;

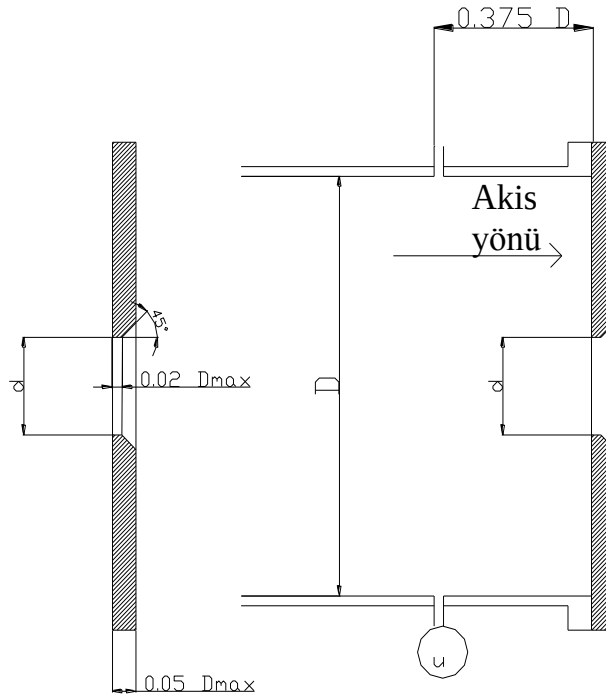
Tec Quipment Ltd.

MANNIN CONTROL LTD.

HELIOS 6000 Stroboscope

3.2.2 Debinin Ölçümü :

Debinin belirlenmesi için orifisle debi ölçümünü içeren BS 848 Standardından yararlanılmıştır. 20, 40, 60, 80, 100 ve 120 mm çaplı orifisler deneylerde kullanılmak üzere özel olarak plexiglas malzemeden yaptırılarak çıkış borusuna yerleştirilerek debi ayarı yapılmıştır. Bu sayede farklı debiler için çarkın performansı belirlenmiştir. Çıkış borusuna yerleştirdiğimiz orifis plakalarının detaylı çizimi ve çıkış borusu üzerinde açılan statik basınç prizinin konumu Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Orifis plakalarının teknik resmi ve çıkış borusuna bağlantısı

Standarta göre çıkış borusu çapı D 'nin 50 mm den küçük olmaması ve orifis çapı d 'nin de 12,5 mm den az olmaması gerekmektedir. Deney düzeneğinde çıkış borusu çapı 200 mm, orifis çapları da 20, 40, 60, 80, 100 ve 120 mm'dir.

Debi hesabı için (3.1) denklemi

$$q_m = \alpha \varepsilon \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2 \rho_u \Delta P} \quad (3.1)$$

kullanılmıştır. Eşitliğin sağ tarafındaki ifadeler kullanılan orifisin boruya bağlantı biçimine göre farklı değerler almaktadır. Bu ifadedeki:

α akış katsayısı olup, $\beta = \frac{d}{D}$ orifis çap oranı ve Reynolds sayısına bağlı olarak değişmektedir. ε genleşme faktörü olup, bu değer BS 848 Standardına göre grafikten β ve $\Delta p/p_u$ değişimine göre belirlenmektedir. D orifis çapı, ρ_u akışkanın yoğunluğu ve ΔP de basınç farkına karşılık gelmektedir. $\Delta P = p_u - p_a = p_{su}$ ifadesi ile bulunmaktadır. Buradaki p_a atmosfer basıncı, p_u ise statik basınç prizinden alınan basınç değerine karşılık gelmektedir. $\beta = \frac{d}{D}$ değeri BS 848 Standardına göre maksimum 0.6 olabilmektedir. Bu durum göz önüne alınarak orifis çapı 120 mm den büyük yaptırılmamıştır.

Yukarıdaki (3.1) eşitliğinde tüm değerler yerine konarak sistemdeki debi değerleri hesaplanmıştır.

3.2.3 Basma Yüksekliğinin Ölçümü :

Çarkın basma yüksekliğinin belirlenmesi için emme borusu üzerinden ve çark çıkışındaki bir noktadan toplam basınç değerleri ölçülmüştür. Bu değerlerin farkından çarkın basma yüksekliği (H_m) bulunmaktadır. Bu ölçümlerde U tüpü manometreler ve 3 delikli basınç probu kullanılmıştır.

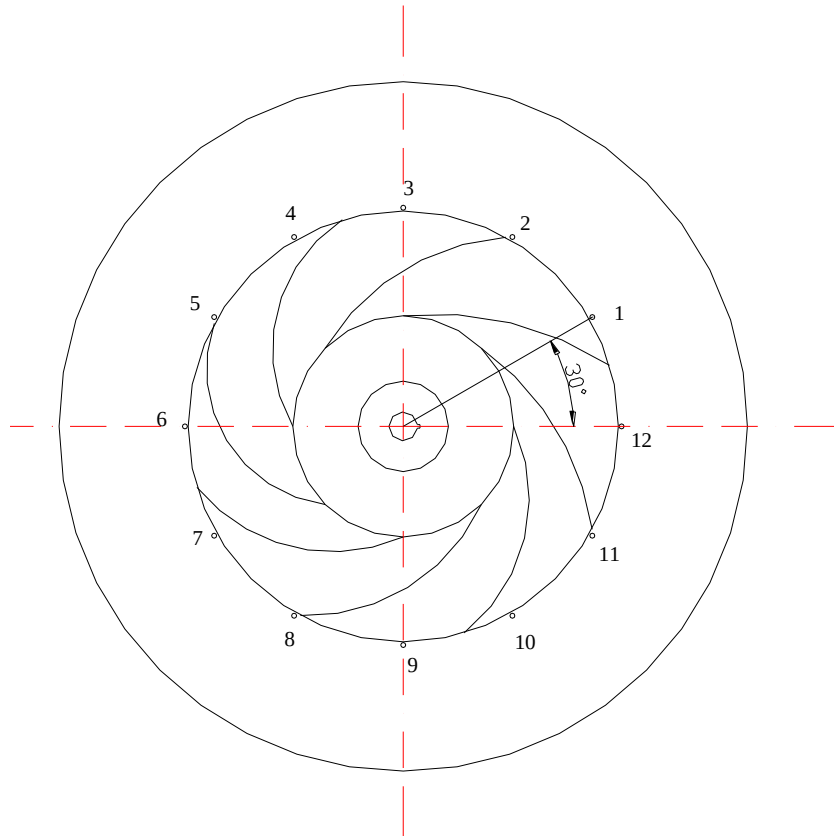
Kullanılan basınç probu; United Sensor and Control Corp. olup, YC187 B-1135 model numarasına sahiptir.

3.2.4 Pompa Gücünün Ölçümü :

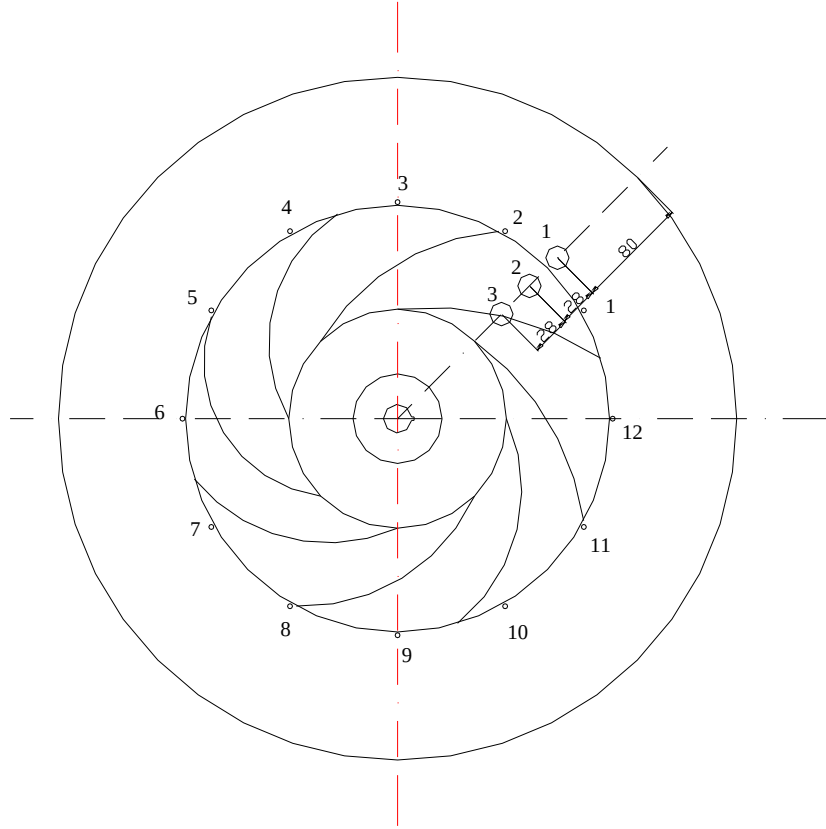
Pompanın çektiği güç elektrik sayacı ile ölçülmüştür. Kullanılan elektrik sayacı KÖHLER marka olup, üç fazlı, dört telli, dört tarifelidir.

3.2.5 Toplam Basınç ve Statik Basınç Ölçümü :

Pompa çarkının genel performansına yönelik olarak çark çıkışındaki toplam basıncın debi ile değişimi, çark çıkışındaki statik basınç dağılımının debi ile değişimi ve çark girişindeki statik basınç dağılımının debi ile değişimleri ölçülmüştür. Toplam basınç ölçümü için daha önce de belirtildiği gibi 3 delikli basınç probu ve U tüpü manometreden yararlanılmıştır. 3 delikli basınç probu ile basınç ölçümü, plexiglas yüzeyin üzerinde Şekil 3.4’de 1 numara ile gösterilen, piezoelektrik transdüserle zamana bağlı basınç ölçümlerini almak için açılan prizden yapılmıştır. Bu probu basınç ölçümü alırken sabitlemek için özel bir düzenek hazırlanmıştır. Probun resmi Ek A bölümünde yer almaktadır. Statik basınç dağılımının tayini için çark çıkışında plexiglas yüzey üzerinde 30° ara ile 12 adet statik basınç prizi açılmıştır (Şekil 3.3) ve buradan statik basınç değerleri çok tüplü manometre kullanılarak alınmıştır. Çark girişindeki statik basıncı ölçmek için de emme borusu üzerinde statik basınç prizi açılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.3: Çark çıkışında açılan statik basınç prizlerinin konumu



Şekil 3.4: Piezoelektrik transdüserle zamana bağlı basınç ölçümleri almak için açılan basınç prizleri

3.2.6 Zamana Bağlı Basınç Ölçümleri:

Deneyler kapsamında zamana bağlı basınç ölçümleri de yapılmıştır. Bu amaçla 3 farklı basınç ölçer kullanılarak ölçümler yapılmıştır. İlk olarak ölçümler piezoelektrik transdüser kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra strain-gage kullanılarak basınç ölçümleri alınmıştır ve son olarak da değişken manyetik dirençli Validyne basınç transdüseri kullanılmıştır.

3.2.6.1 Piezoelektrik Transdüser İle Zamana Bağlı Ölçümler

Çark girişinden çark çıkışına kadar 4 farklı noktada basıncın zamanla değişimi ölçülmüştür. 1, 2 ve 3 numaralı ölçüm delikleri Şekil 3.4’de görüldüğü gibi plexiglas yüzey üzerinde açılmıştır ve 4 numaralı delik ise emme borusu üzerinde açılmıştır (Şekil 3.5) .

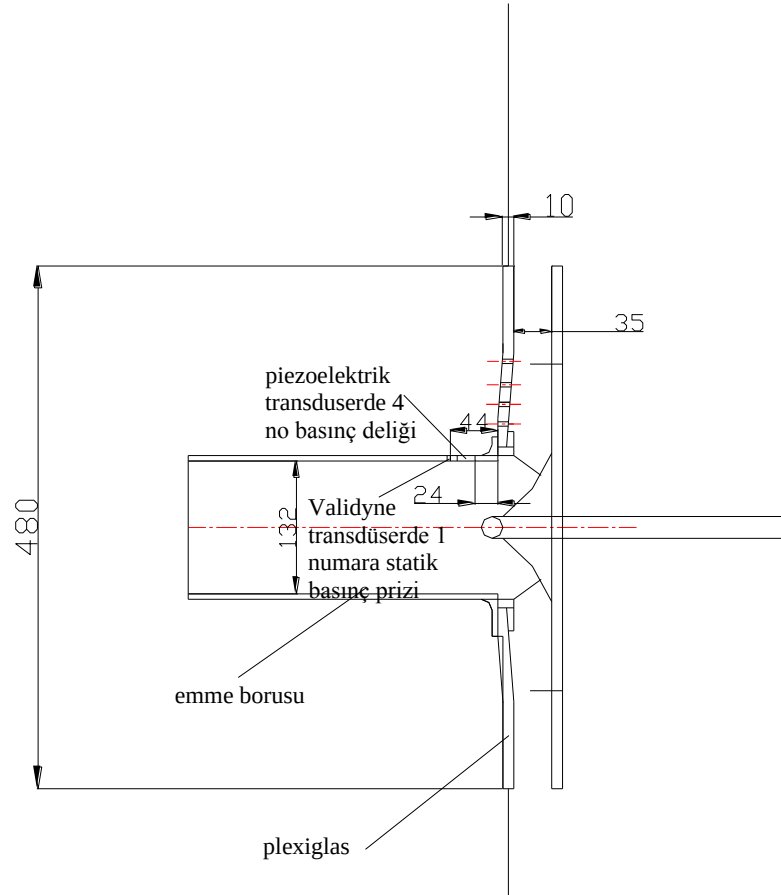
3.2.6.2 Strain-Gage ile Zamana Bağlı Ölçümler

Strain-gage ile basınç ölçümü almak için piezoelektrik transdüser için açılmış olan 2 numaralı basınç deliğinden yararlanılmıştır (Şekil 3.4) ve strain gage bu bölüme monte edilmiştir.

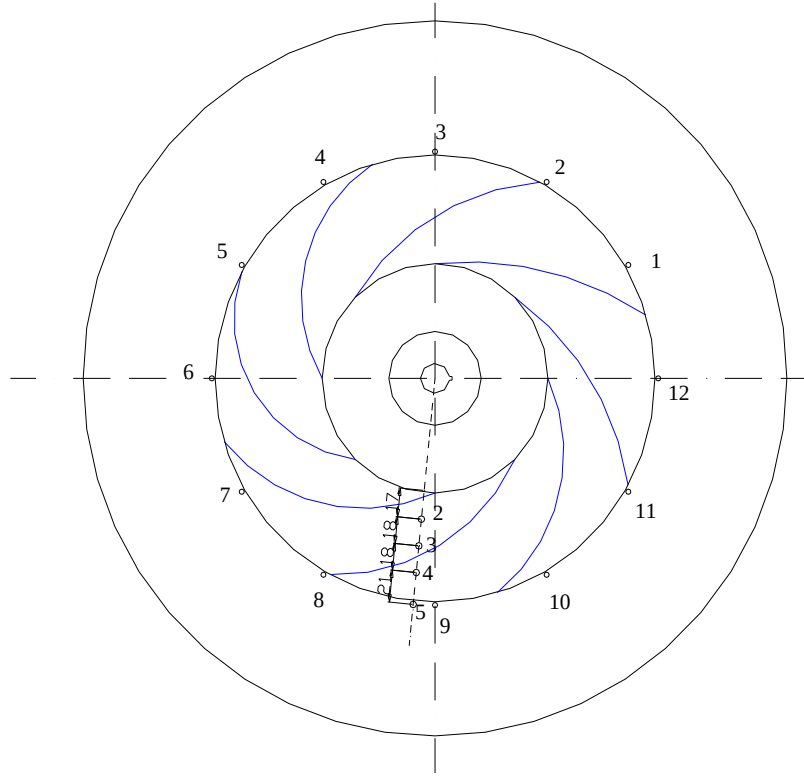
3.2.6.3 Validyne Marka Transdüser ile Zamana Bağlı Ölçümler

Validyne marka transdüser ile zamana bağlı ölçümleri almak için emme borusundan başlayarak çark girişinden çark çıkışına kadar 5 farklı noktada basınç delikleri açılmıştır (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6).

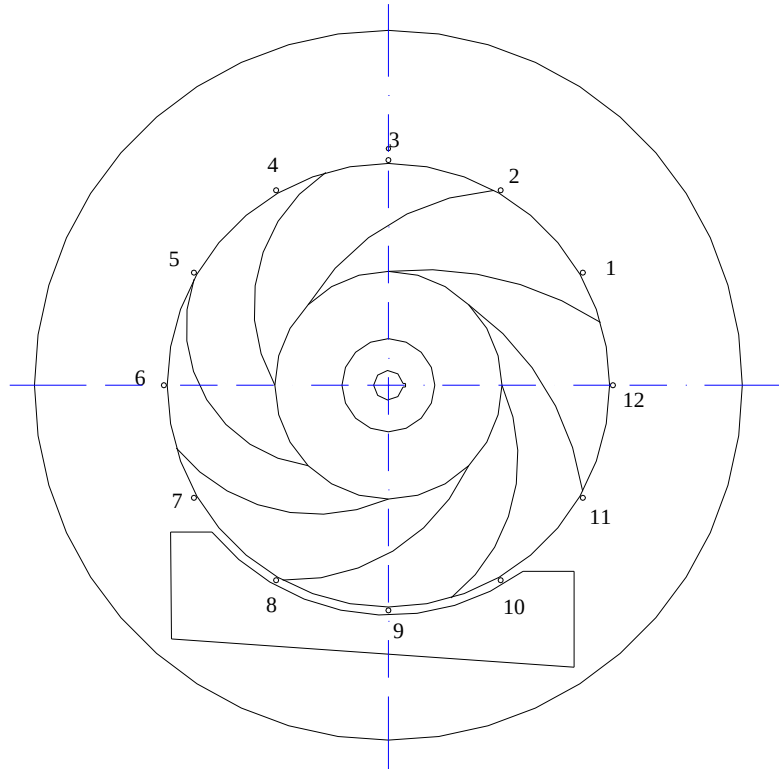
Bu çalışma kapsamında çark çıkışına konan sabit bir engelle bunun çark performansına ne gibi bir etki yaptığı ve yaratılan rahatsızlığın çark içerisinde hangi noktalara kadar ilerlediğinin görülmesi amaçlanmaktadır. Sabit engelin çark çıkışındaki konumu Şekil 3.7’de verilmiştir. Engel ve çark çapı arası 7.5 mm mesafe kalacak şekilde ayarlama yapılmıştır.



Şekil 3.5: Emme borusu üzerindeki statik basınç prizlerinin yerleri ve çarkın plexiglass'a göre konumu



Şekil 3.6: Validyne transdüserde zamana bağlı ölçümler için açılan basınç prizleri

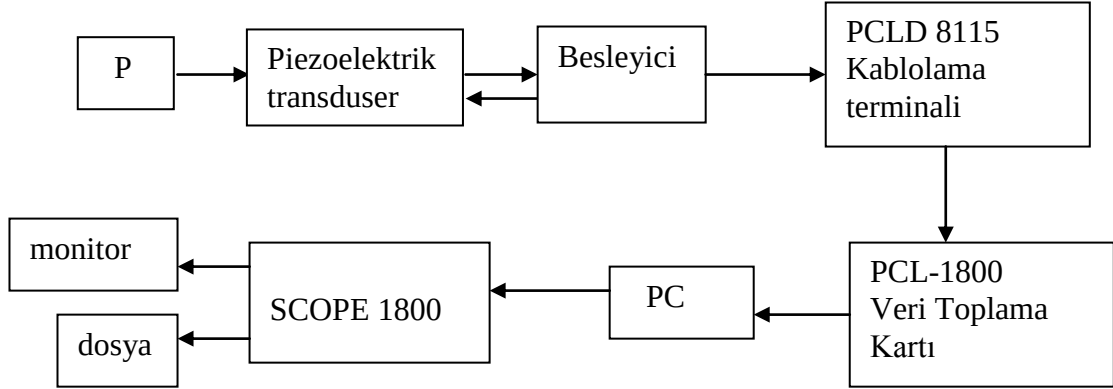


Şekil 3.7: Engelin çark etrafındaki konumu

3.2.7 Piezoelektrik Transdüser Özellikleri :

Piezoelektrik transduserler, dinamik basınç ölçümü amacıyla kullanılırlar. Deneylerde kullanılan PCB 106B50 modeli, yüksek seviyeli çıkış sinyalleri üretip küçük basınç çalkantılarını tespit etmektedir. PCB transduserlerin önemli özelliklerinden birisi de entegre işlemsel devreye sahip olmalarıdır. Bu yükseltici sayesinde kuvars kristalinin basınç altında ürettiği yüksek empedanslı gerilim, düşük empedanslı gerilime dönüştürülür. Bu dönüşümü yapmak için MOSFET mikro elektronik amplifikatör kullanılmaktadır. MOSFET kısaca bir yükseltici devredir, bu devre de bir doğru akım besleyicisi ile beslenmektedir.

PCB 106B50 transdüser ve besleyicinin resmi Ek A'da bulunmaktadır. Piezoelektrik transdüserle 2 farklı devir sayısı için 4 farklı noktada ve 4 farklı debide veriler toplanmıştır. Piezoelektrik transdüser, algıladığı basınç sinyalini besleyici yardımıyla bir kablolama terminaline iletmekte, buradan da gelen analog sinyal veri toplama kartı sayesinde değerlendirilebilir sayısal sinyale dönüştürülmektedir. Şekil 3.8'de veri toplama sistemi gösterilmiştir. Ek B bölümünde veri toplama sisteminde kullanılan elemanların temel özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Piezoelektrik transdüserde veri toplama sisteminin şematik gösterimi

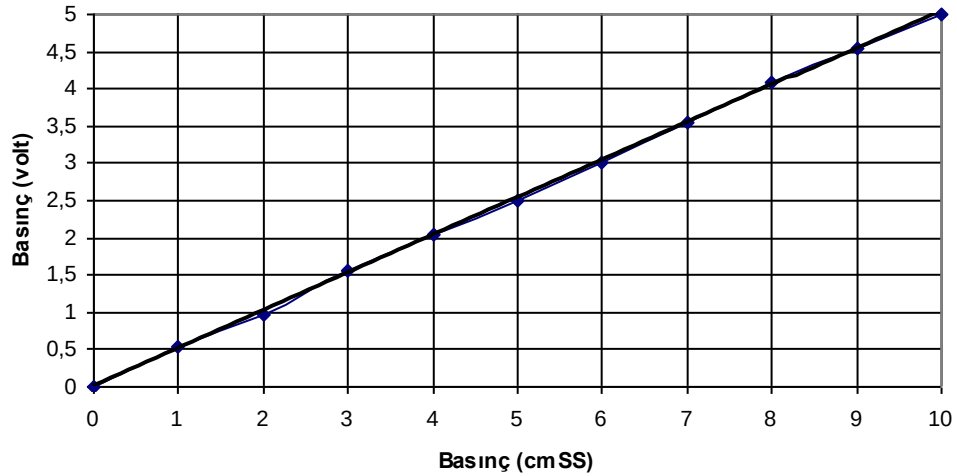
3.2.8 Validyne Marka DP15 Transdüser Özellikleri

Validyne marka DP15 model transdüserler, Validyne Carrier Demodülatörlerle birlikte çalışmaktadır. Bu tip transdüserlerde basıncı ölçmek için manyetik, paslanmaz, düz bir diyafram kullanılmaktadır. Basınç kanalından gelen basınçlı hava diyaframı bir yüzünden esneterek manyetik alan etkisi ile basınç sinyali üretilmesini sağlamaktadır. Deneylerde kullanılmak üzere Validyne DP15 model transdüserde

22,5 cmSS basınca dayanıklı diyafram kullanılmıştır. Transduser deneylere başlamadan önce kalibre edilmiştir. Kalibrasyonda 0-10 cmSS arasında basınçlar U tüpü manometrede sağlanıp, transduserden çıkan sinyal değerleri demodülatör çıkışında voltaj (V) olarak okunmuştur. Tablo 3.1’de bu değerler görülmektedir ve Şekil 3.9’da transduserin kalibrasyon eğrisi de verilmiştir. Bilgisayar sisteminde veri toplama için +/- 5V aralıkta çalışan bir PCL 1800 veri toplama kartı kullanılmıştır. Çark çıkışında çıkılan maksimum basınç değeri 9cmSS mertebesinde olduğu için transduser 10 cmSS’ye göre kalibre edilmiştir.

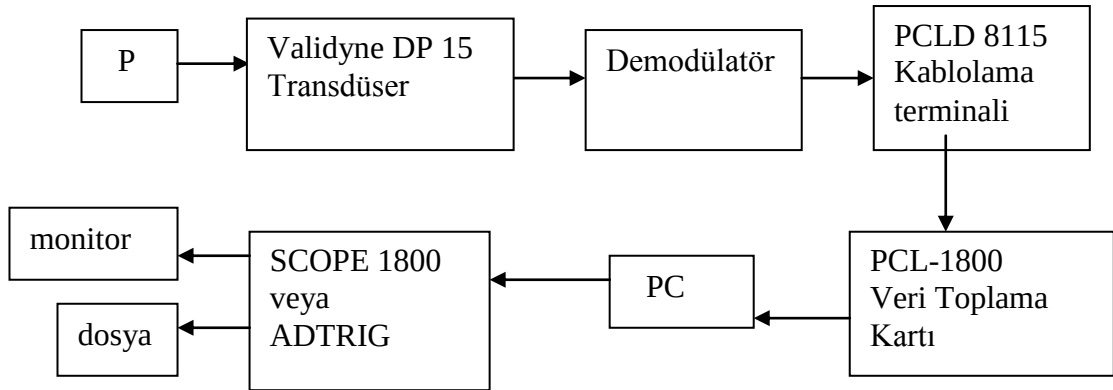
Tablo 3.1: Validyne transduser kalibrasyon değerleri

Basınç (cmSS)	Basınç (V)
0	0
1	0,538
2	0,978
3	1,555
4	2,051
5	2,493
6	3,02
7	3,54
8	4,075
9	4,53
10	5



Şekil 3.9: Transduser kalibrasyon eğrisi

Çark girişinden çark çıkışına doğru çark boyunca statik basınç dağılımının değişimini incelemek için plexiglass yüzey üzerinde statik basınç prizleri açılmıştır. Bu prizlere uzunluğu kısa tutulan bir boru bağlanmış ve bu da transdüserle bağlanmıştır. Demodülatörden kablolama terminaline aktarılan sinyaller veri toplama kartında kullanılabilir hale dönüştürülmektedir. SCOPE-1800 ve ADTRIG programları kullanılarak veriler değerlendirilmektedir. Veri toplama sisteminin şematik gösterimi aşağıda Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10: Validyne transdüserde veri toplama sisteminin şematik gösterimi

3.2.9 Kullanılan Veri Toplama Kartı :

Deneylerde elde edilen ölçümler, Advantech PCL 1800 veri toplama kartı kullanılarak değerlendirilmiştir. Advantech PCL 1800 yüksek performanslı bir veri toplama kartıdır ve bu kart ile bilgisayara veri giriş çıkışı ISA yuvası kullanılarak yapılmaktadır. Advantech PCL-1800 veri toplama kartını bilgisayarda analiz edebilmek için kartla birlikte paket halinde verilen üretici firmanın yazmış olduğu SCOPE-1800 osiloskop emülasyon ve sinyal analiz programından ve Validyne transdüser ve PCL-1800 veri toplama kartının özelliklerine uygun olarak yazılmış ADTRIG adlı Quick Basic programından da yararlanılmıştır. ADTRIG programının içeriği Ek C’de verilmiştir. SCOPE-1800 ve ADTRIG programlarıyla elde edilen sonuçlar uyum içerisinde çıkmıştır. Her iki programında kendine göre avantajları vardır. SCOPE 1800 programı ile kart ekstra bir program yazmaya gereksinim olmadan kullanılabilir. SCOPE-1800 uygulamaları veri elde etme, test etme, ölçme, sinyal görüntüleme ve sinyal analizini içermektedir. Bu programın en iyi tarafı, kullanıcının alınan verileri anında ekranda takip etme şansının olmasıdır. Alınan sinyal hemen fft spektrum analizi ile değerlendirilebilmektedir. SCOPE 1800

programı toplanan veri sayısını 8192 ile sınırlamıştır. Örnekleme frekansı f_s ise çeşitli değerlerde seçilebilmektedir. ADTRIG programı ile de istenen örnekleme frekansında veri toplanabilir. Veri sayısında da bir sınırlama yoktur. Bu programın tek dezavantajı spektrum analizinin ekranda hemen görülememesidir. Alınan değerler, ayrı bir bilgisayar kullanılarak analiz edilmektedir.

3.3 Kullanılan Çarkın Geometrik Bilgileri

Deneylerde kullanılan ve şekil 3.11’de şematik olarak gösterilen çarkın temel büyüklükleri aşağıda verildiği şekildedir. Çalışmalarda açık çark kullanılmıştır. Çarkın dijital fotoğraf makinesiyle çekilmiş resmi Ek A’da verilmiştir.

Çark dış çapı (D_2) = 300 mm

Çark iç çapı (D_1) = 154 mm

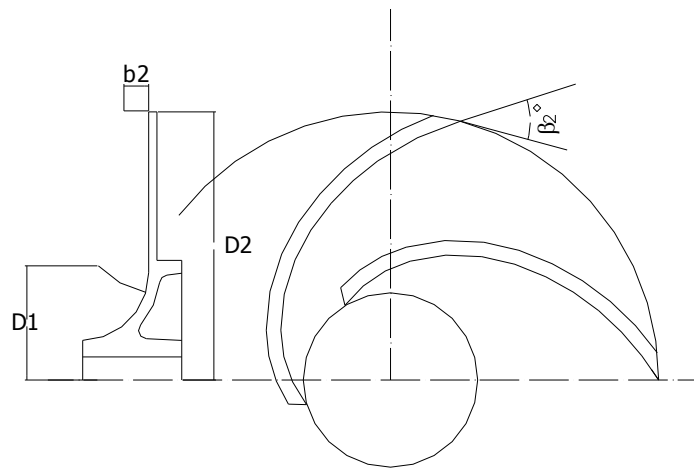
Kanat sayısı (z) = 8

Çark genişliği (b_2) = 20 mm

Çıkış kanat açısı (β_2) = 31°

Kanat kalınlığı = 5 mm

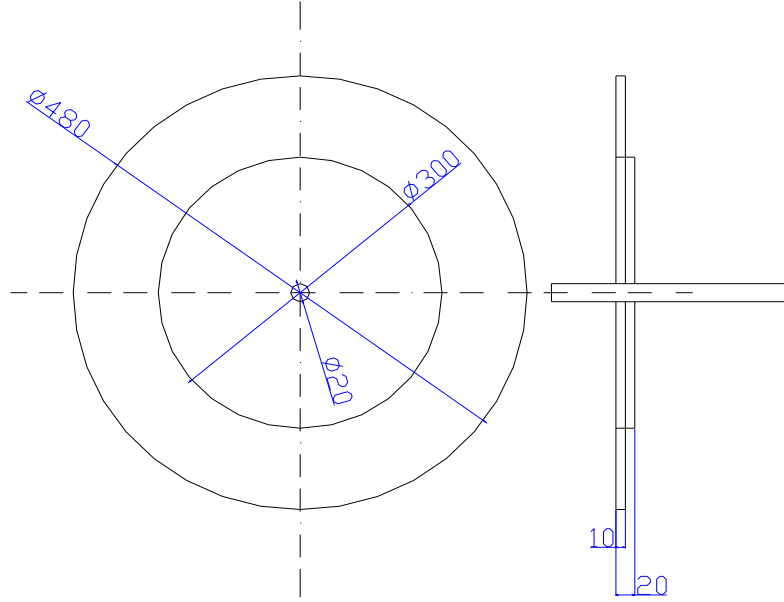
Göbek çapı (d_g) = 20 mm



Şekil 3.11: Çark temel boyutları

3.4 Çarkın Yerleştiği Yuvanın Boyutları ve Açıklıklar

Çarkın yerleştirildiği yuvanın resmi şekil 3.12’de verilmiştir. Çark 300 mm çaplı bölüme 20 mm’lik göbek çapı yardımıyla geçirilmektedir.



Şekil 3.12: Çarkın yerleştiği yuvanın detayları

3.5 Ölçümlerin Alındığı Plexiglas Yüzeyin Boyutları ve Açıklıklar

Plexiglasın çapı 480 mm’dir, kalınlığı 10mm’dir. Plexiglasın ayrıntılı resmi şekil 3.5’de verilmiştir.

Ayrıca plexiglas üzerinde basınç ölçümü aldığımız deliklerin konumları da daha önce gösterildiği üzere şekil 3.3, şekil 3.4 ve şekil 3.6’da verilmiştir.

4. DENEYLERDE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar ile salyangoz,difüzör gibi elemanların bulunmadığı açık bir radyal pompa çarkında,

Çark çıkışında uniform bir statik basınç dağılımının olması durumunda çark çıkışı ve çark girişi arasındaki akışın incelenmesi

Çark çıkışına duran sabit bir engel yerleştirerek çark çıkışında uniform olmayan statik basınç dağılımı yaratarak oluşturulan rahatsızlığın çark çıkışından çark girişine doğru ne şekilde ilerlediğinin görülmesi

Her iki koşulda da çarktaki daimi olmayan akışın incelenmesi amaçlanmaktadır.

Bu amaçlar doğrultusunda öncelikle çark performansı belirlenmiştir. Pompa 3000 dev/dak'da çalıştırılmıştır; engelli ve engelsiz durumlar için H_m -Q eğrisi ve çark çıkışındaki statik basınç dağılımları bulunmuştur.

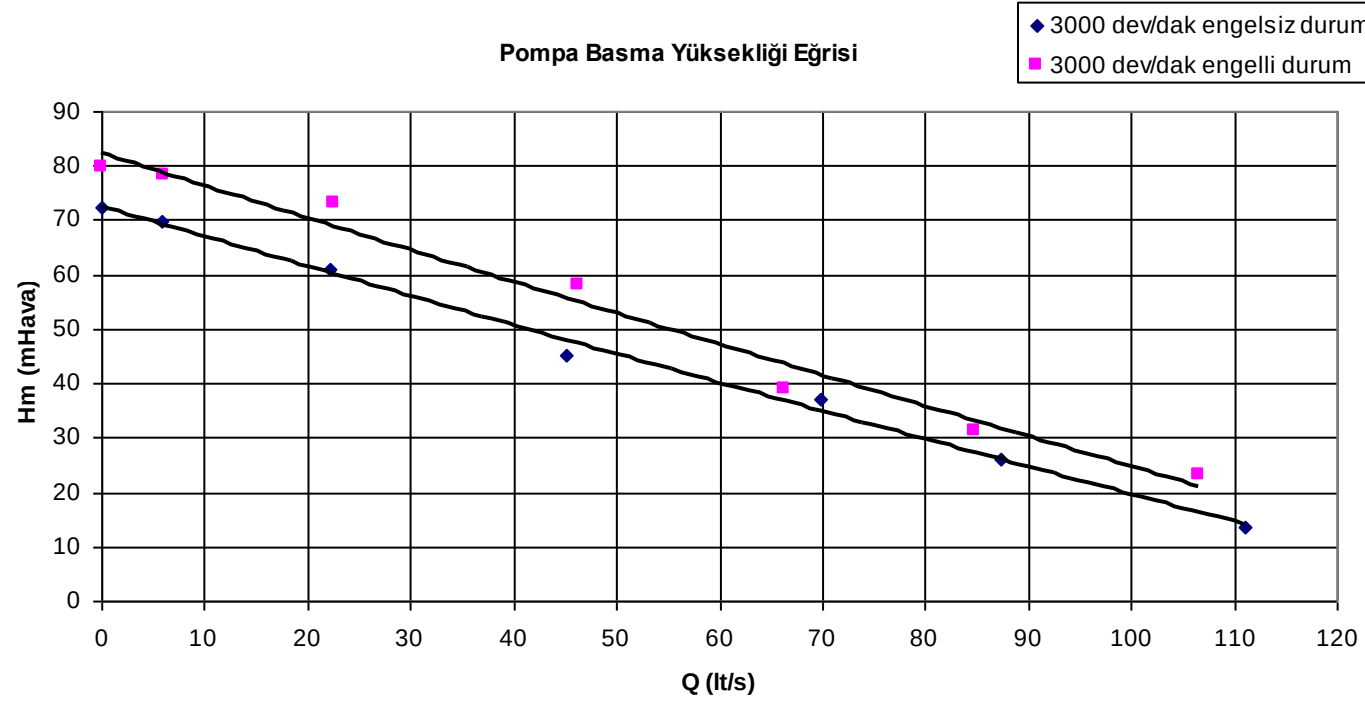
4.1 Çark Performansı İle İlgili Ölçüm Sonuçları

4.1.1 Pompa Basma Yüksekliği Ölçümü Sonuçları

Pompanın basma yüksekliğinin bulunması amacıyla farklı orifisler kullanılmıştır ve üçüncü bölümde anlatılan ölçme aletleri ve yöntemlerden yararlanılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde 3000 dev/dak için çark çıkışından alınan basınç ölçümleri ve debi değerlerinin değişimi Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.1'de engelli ve engelsiz halde belirlenen pompa basma yüksekliği-debi eğrisi gösterilmiştir.

Tablo 4.1: 3000 dev/dak için engelli durumdaki deney verileri

Orifis çapı (cm)	Pstatik(girişte) (cmSS)	Hm (mHava)	Q (lt/s)
0	-0,02	79,8	0
20	-0,05	78,1	6,1
40	-0,072	72,9	22,6
60	-0,18	58,04	46,3
80	-0,36	38,8	66,3
100	-0,55	31,2	84,8
120	-0,69	23,3	106,6



Şekil 4.1: 3000 dev/dak için Pompa Karakteristik Eğrisi

Tablo 4.2: 3000 dev/dak için engelsiz durumdaki deney verileri

Orifis çapı (cm)	Pstatik(girişte) (cmSS)	Hm (mHava)	Q (lt/s)
0	-0,01	72,2	0
20	-0,05	69,6	5,9
40	-0,07	61	22,1
60	-0,15	45,3	45,2
80	-0,3	36,9	69,9
100	-0,53	26	87,3
120	-0,67	13,7	111

4.1.2 Pompa Performans Eğrisinin Değerlendirilmesi

4.1.2.1 Engelin Olmadığı Durumda Pompa Performans Eğrisi

Pompanın tasarım debisi 70 lt/s olarak verim eğrisinden bulunmuştur. Bu debi değerine Ø80 lik orifisi kullanarak ulaşılabilir. Tasarım debisindeki basma yüksekliği 36 mHava olarak performans eğrisinden bulunmuştur.

4.1.2.2 Engelin Olduğu Durumda Pompa Performans Eğrisi

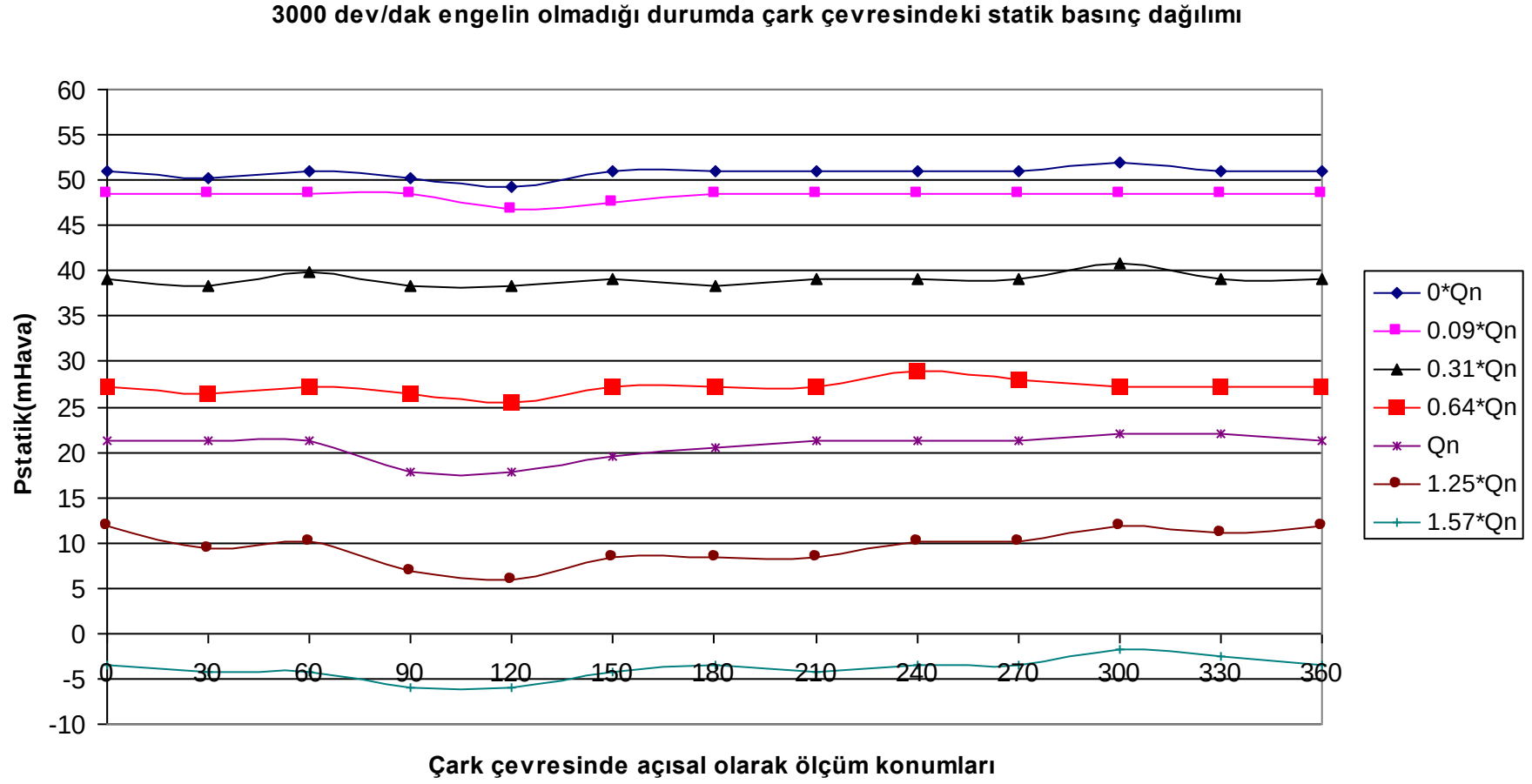
Engelin olduğu bölümden P_T ölçülerek basma yüksekliğini hesapladığımızda bu değer engelsiz durumdakine göre çok daha fazla olduğunu görüyoruz. Engelin olduğu durumda da tasarım debisi 70 lt/s olarak ölçülmüştür. Bu debi değerindeki basma yüksekliği 42 mHava mertebesinde çıkmaktadır.

4.1.3 Statik Basınç Ölçüm Sonuçları

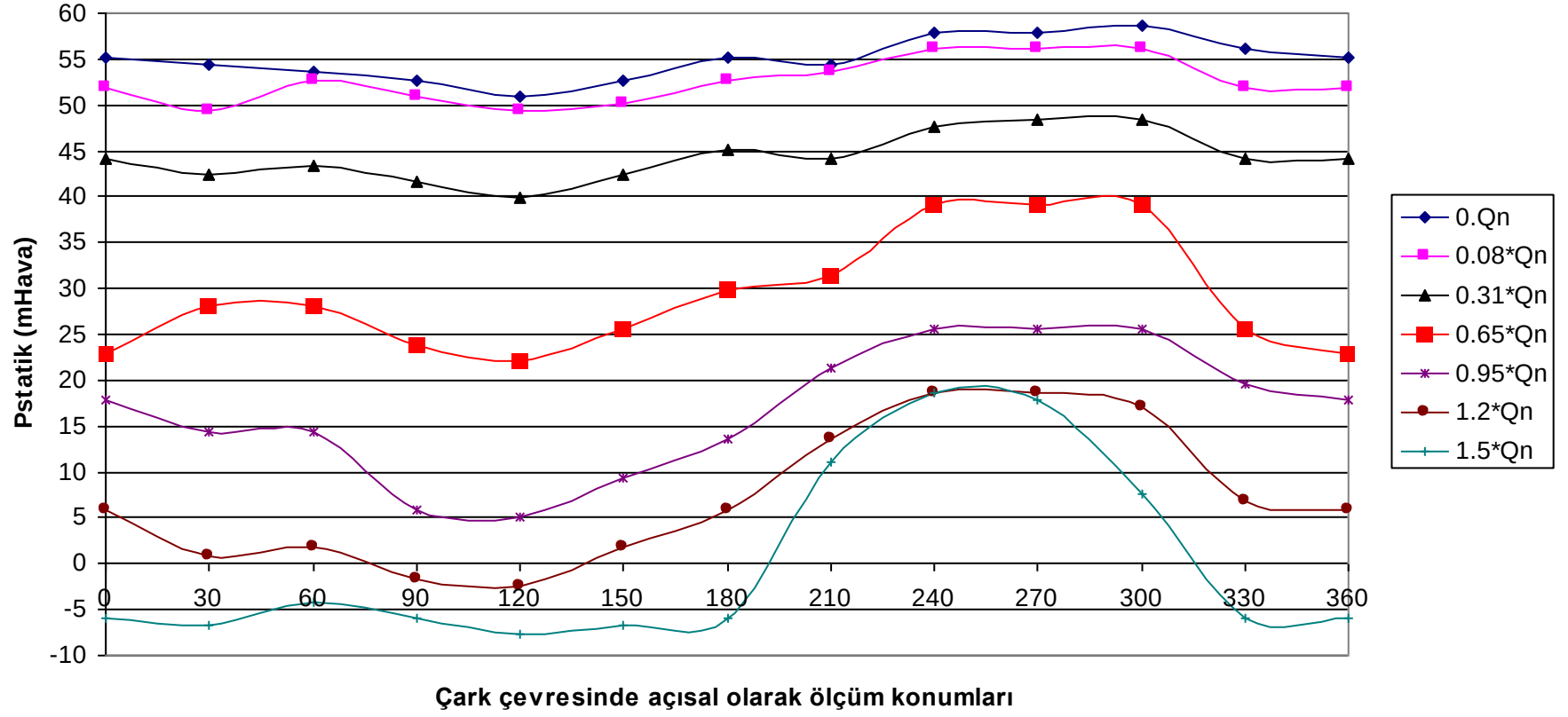
Çark performansı değerlendirilirken çark çevresindeki statik basınç dağılımı da incelenmiştir. Engelli ve engelsiz durumda çark çıkışında ölçülen statik basınçların değişimi Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Burada üçüncü bölümde detaylı olarak gösterdiğimiz statik basınç prizlerinin konumu çark çevresinde açısal olarak verilmiştir. Şekil 3.3’de 12 numara ile gösterilen statik basınç prizi 0^0 olarak referans kabul edilmiştir.

4.1.3.1 Engelin Olmadığı Durumda Çark Çevresindeki Statik Basınç Dağılımının Değerlendirilmesi

Engelsiz durumda yani çark çıkışındaki akış koşullarının uniform olması durumunda çark etrafındaki basınç dağılımı Şekil 4.2’de görüldüğü gibi uniform olarak



3000 dev/dak engelli durumda çark çevresinde statik basınç dağılımı



Şekil 4.3: Engelli durumda çark çevresi statik basınç dağılımı

ölçülmüştür. Statik basınç değerleri en düşük debide maksimum, en yüksek debide ise minimum değerdedir. Düşük debiden yüksek debi değerine doğru statik basınç değerleri düzgün bir biçimde azalma göstermektedir.

4.1.3.2 Engelli Durumda Çark Çevresindeki Statik Basınç Dağılımının Değerlendirilmesi

Çark çıkışındaki bir bölgeye duran sabit bir engel yerleştirdiğimizde bu engelin çark etrafındaki akış üzerinde yarattığı rahatsızlık hemen görülebilmektedir. Engelin bulunduğu bölgeden (210° ve 330° arası) alınan basınç değerleri Şekil 4.3'den de görülebileceği gibi belirgin bir biçimde artmaktadır. Özellikle tasarım debisinde ve yüksek debilerde bu etki daha açıkça görülmektedir. Düşük debilerde engel çark çıkışındaki basınç değerlerini çok fazla etkilememektedir. Tasarım debisinin %65'inden itibaren engelin etkisi belirginleşmeye başlamıştır. Engelsiz durumda olduğu gibi düşük debilerden yüksek debiye doğru statik basınç değerlerinde azalma olmaktadır. Tasarım debisinde ve daha yüksek debilerde engel girişine yakın olan noktadan (210°) itibaren basınç değerleri artmaktadır. Ayrıca tasarım debisinden daha yüksek debilerde engelin olduğu bölgedeki basınç değerleri birbirine yakındır.

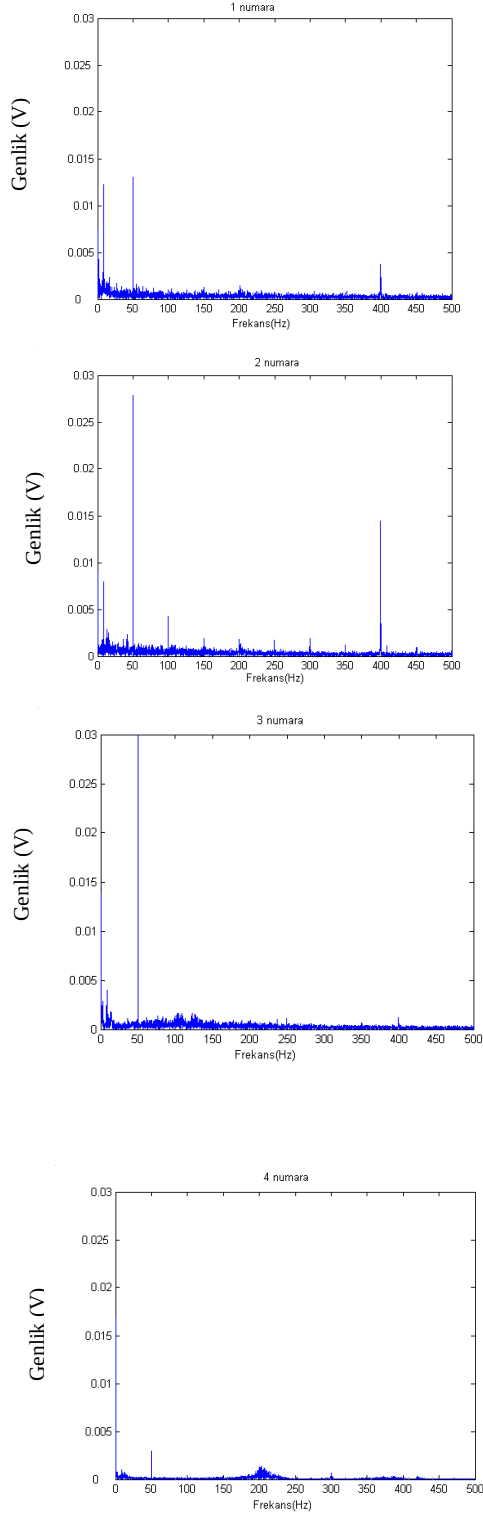
4.2 Zamana Bağlı Ölçüm Sonuçları

Açık radyal pompa çarkındaki daimi olmayan akışın deneysel incelendiği bu çalışmada zamana bağlı ölçümler çalışmanın en önemli kısmını oluşturmaktadır. Çalışmanın asıl hedefi olan çark çıkışındaki akış koşullarını değiştirmenin çark içi akışa etkisinin görülebilmesi için bu ölçümlerin alınması gerekmektedir. Zamana bağlı basınç ölçümlerinin alınması için üniversite laboratuvarındaki mevcut ölçme cihazlarından yararlanılmıştır. Öncelikle piezoelektrik transdüser kullanılmış, sonra strain gage ile bir deneme yapılmış ve en son olarak da Validyne marka transdüser kullanılmıştır. Tüm bu ölçümler sonucunda, Validyne marka transdüserin mevcut olanlar arasında en uygun olduğu sonucuna varılmıştır ve ölçümlere bu cihazla devam edilmiştir. Aşağıda üç ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

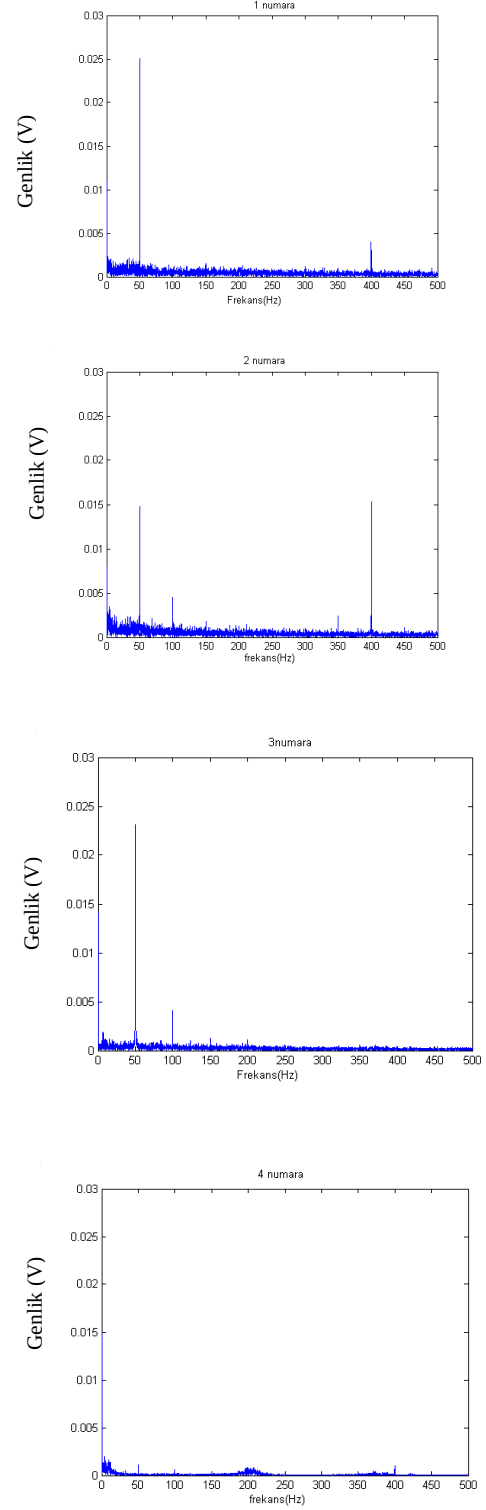
4.2.1 Piezoelektrik Transdüserle Elde Edilen Zamana Bağlı Sonuçlar

Zamana bağlı basınç ölçümlerini almak için öncelikle piezoelektrik transdüserden yararlanılmıştır. Çark girişinden çıkışına kadar 4 farklı noktada basınç ölçümleri

Engelsiz durum

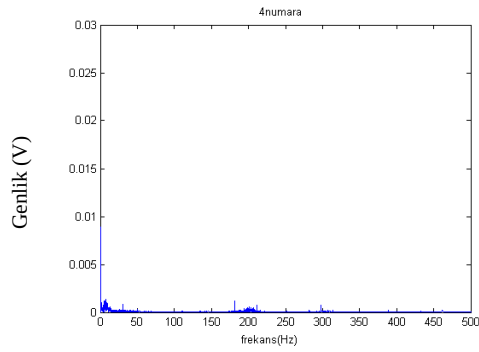
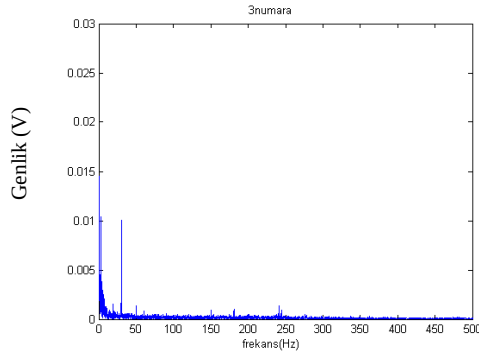
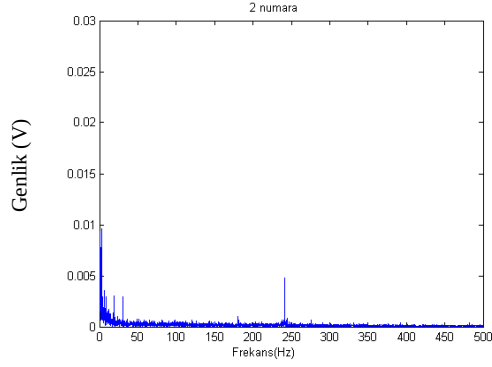
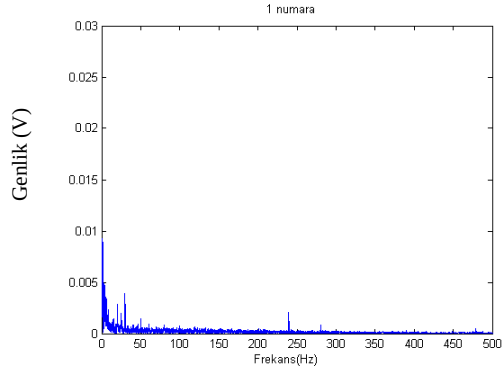


Engelli durum

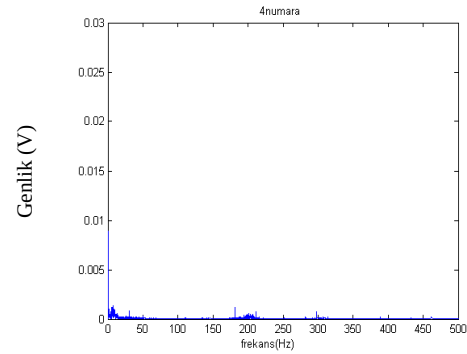
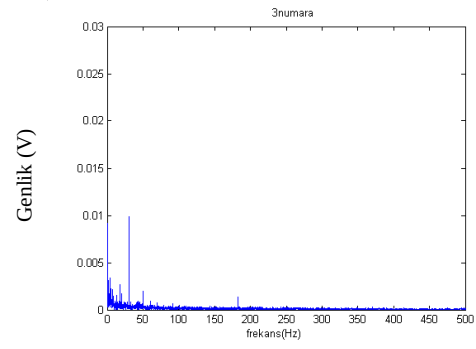
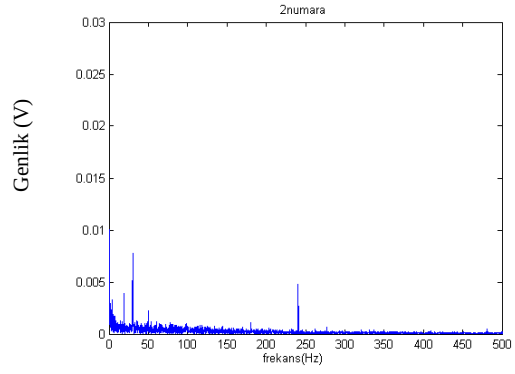
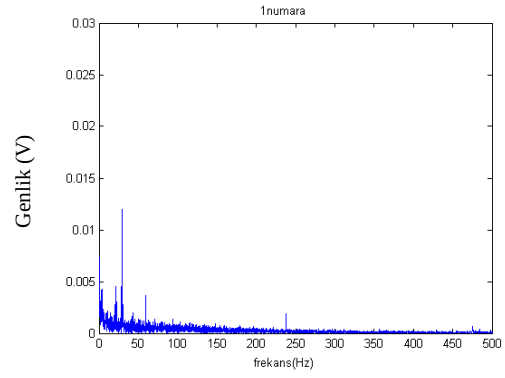


Şekil 4.4: 3000dev/dak'da tasarım debisinde engelsiz ve engelli durumda 4 noktada basınç çalkantılarının spektrumu

Engelsiz durum



Engelli durum



Şekil 4.5: 1800 dev/dak'da tasarım debisinin %30'unda engelsiz ve engelli durumda 4 noktada basınç çalkantılarının spektrumu

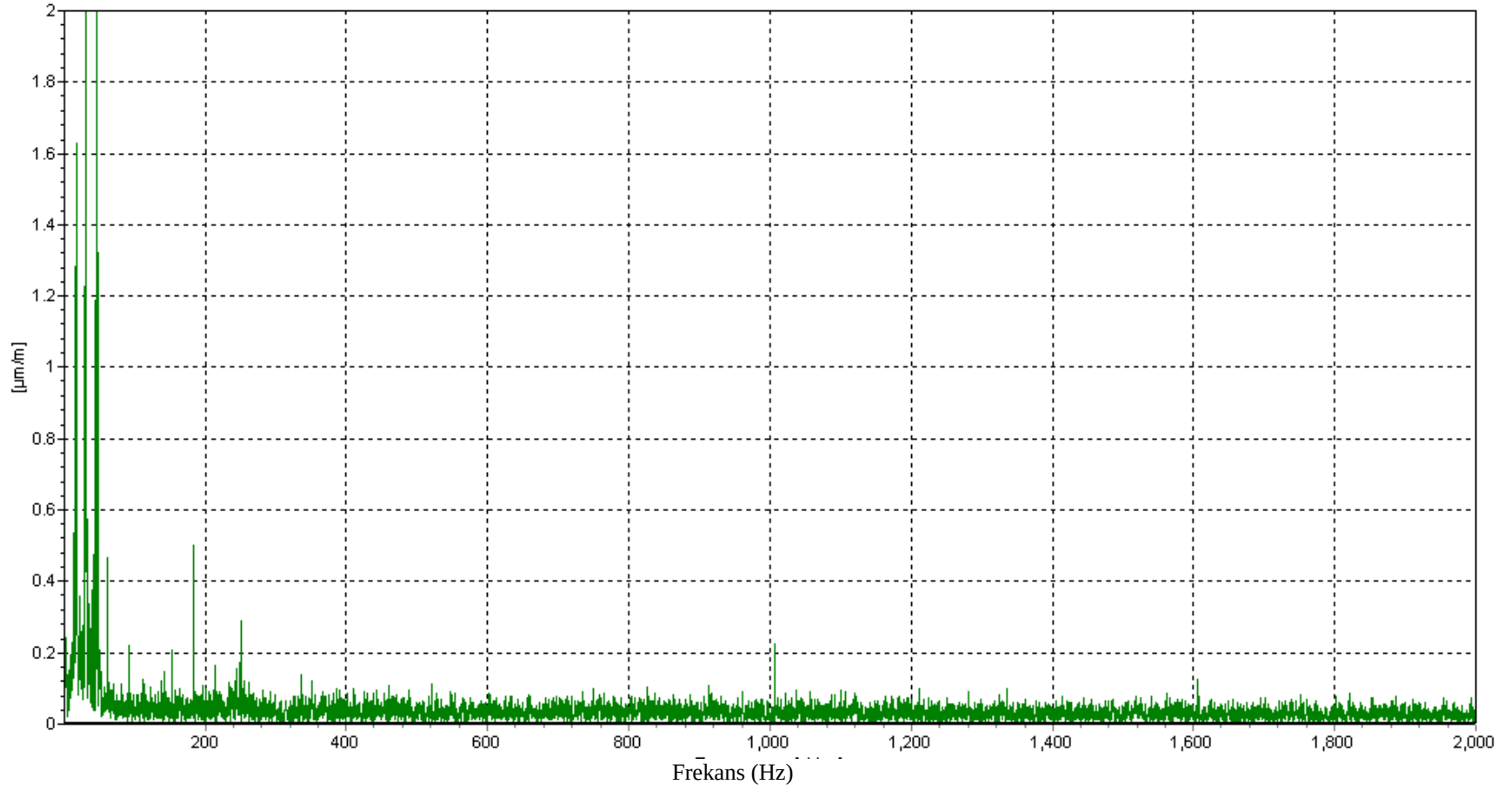
engelli ve engelsiz halde 2 farklı devir sayısında alınmıştır (1800 dev/dak ve 3000 dev/dak). Piezoelektrik transdüserle elde edilen sonuçların bir kısmı fikir vermek için önceki sayfada Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de verilmiştir. Burada 1 numara çark çıkışındaki nokta 4 numara ise emme borusu üzerindeki noktadır (Şekil 3.5).

4.2.1.1 Piezoelektrik Transdüserle Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Ölçümler hem 1800 dev/dak hem de 3000 dev/dak için yapılmıştır. Bu sayede yapılan spektrum analizi ile kanat geçiş frekansı değerinin yakalanıp yakalanmadığı ve alınan ölçümlerin kontrolü yapılmıştır. Piezoelektrik transdüserde ölçümler 10 kat büyütülerek alınmıştır. 3000 dev/dak’da 400Hz’de ve 1800 dev/dak için de 240 Hz değerinde kanat geçiş frekansı görülebilmektedir (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5) . Engelli durumda elde edilen genlik değerleri biraz daha büyümektedir. Piezoelektrik transdüserde 2 numara dediğimiz çark ortası diyebileceğimiz noktada kanat geçiş frekansı değerlerinin daha belirgin olarak yakalandığı görülmüştür. Ancak piezoelektrik transdüserde maksimum tepeler kanat geçiş frekansından çok mil devrinde görülmektedir. Çark içine doğru ilerledikçe kanat geçiş frekansındaki genlik değeri belirginliğini yitirmektedir. Çark çıkışında engelli durumda dahi mil devrindeki genlik değeri daha yüksek çıkmıştır. Emme borusu üzerinden aldığımız sinyaller piezoelektrik transdüserde tüm debilerde aynı yapıda çıkmıştır (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5). PCB 106B50 model piezoelektrik transdüserin çözünürlük değeri bizim ölçüm değerlerimiz için uygun değildir. Deney sistemimizdeki basınç değerleri çok düşük olduğu için bu transdüserin ölçme aralığı bizim ölçümlerimize göre çok olduğundan sonuç olarak piezoelektrik transdüserin ölçümlerimiz için uygun olmadığına karar verilmiştir.

4.2.2 Strain-Gage Kullanılarak Elde Edilen Zamana Bağlı Sonuçlar

Strain-gage ile ölçüm sadece bu tip bir ölçüm yönteminin uygun olup olmayacağını denemek için yapılmıştır. Bu yöntemle sadece 1800 dev/dak’da tek bir ölçüm alınmıştır. Daha önce piezoelektrik transdüser için açılan basınç deliklerinden 2 numaralı olana strain-gage monte edilmiştir ve sistem çalıştırılarak ölçüm alınmıştır. Strain-gage kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda 240 Hz olan kanat geçiş frekansının yakalandığı ancak sistemde daha baskın olan pek çok frekans değerinin ortaya çıktığı görülmüştür. Strain-gage kullanılarak elde edilen basınç sinyalinin



Şekil 4.6: Strain-gage kullanılarak elde edilen basınç sinyalinin spektrumu

spektrumu Şekil 4.6’da verilmiştir. Sonuçta strain-gage kullanmanın ölçümlerimiz için pek uygun olmadığı görülmüştür.

4.2.3 Validyne Marka Transdüserle Elde Edilen Zamana Bağlı Sonuçlar

Diğer iki basınç ölçerin uygun olmadığına karar verildikten sonra Validyne marka transdüser denenmiş ve alınan deneme ölçümlerinde bu transdüserle istediğimiz sonuçlara ulaşabildiğimiz görülmüştür. Deneylere bu transdüser kullanılarak devam edilmiştir. Elimizdeki mevcut tüm orifisler kullanılarak farklı debilerde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Emme borusundan başlayarak, çark girişinden çıkışına kadar toplam 5 noktada ölçümler alınmıştır (Şekil 3.6). Ölçümler sadece 3000 dev/dak ile gerçekleştirilmiştir. Basınç sinyali alınan tüm noktalarda basınçların ortalama değerleri de verilmiştir. Bu sayede engelin yarattığı rahatsızlığın etkisi değerlendirilebilmektedir.

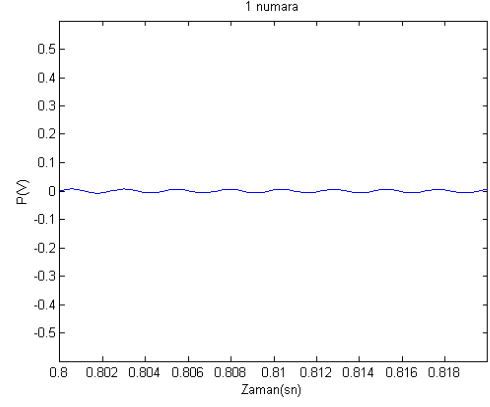
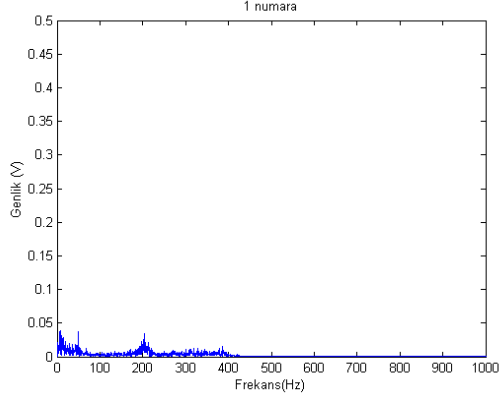
Yapılan deneylerde örnekleme frekansı $f_s = 10\text{kHz}$ olarak seçilmiştir. Her ölçümde toplam 20000 veri alınmıştır, yani ölçümler 2 sn sürmüştür. Çark 3000 dev/dak ile döndüğü için ve 8 kanat olduğundan mil devri $3000/60 = 50\text{ Hz}$ ve kanat geçiş frekansı $50 \times 8 = 400\text{ Hz}$ olmalıdır. Nyquist teoremine göre f_s değeri sistemdeki en büyük titreşim frekansının 2 katından fazla olmalıdır (Şanlıtürk 2003). 10kHz değeri zaten bu değerden çok fazladır. f_s ’in 10 kHz seçilmesinin nedenini şöyle açıklayabiliriz. Eğer $f_s = 1\text{kHz}$ seçilmiş olsaydı, kanadın bir geçiş süresince sadece 2,5 veri toplanmış olacaktı; bu da ölçüm sonuçlarının doğruluğu açısından bir problem yaratmış olacaktı. $f_s = 10\text{ kHz}$ seçildiğinde aynı zaman süresince 25 veri alınmış olmaktadır.

Elde ettiğimiz sinyallerin 5 farklı noktada 7 farklı debide değerlendirilmesi yapılmıştır. 1 numara emme borusu üzerinden alınan durumu, 5 numara çark çıkışındaki durumu göstermektedir. Aldığımız normal basınç sinyallerinin spektrum analizi ve kanat geçiş frekansındaki sinyalin zamana bağlı değişiminin tüm noktalardaki engelli ve engelsiz hallerdeki gösterimi Şekil 4.7 ve Şekil 4.20 arasında verilmiştir.

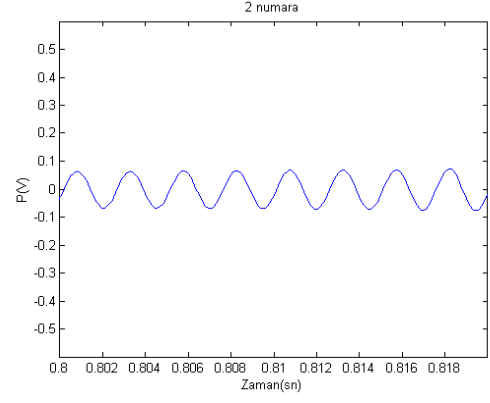
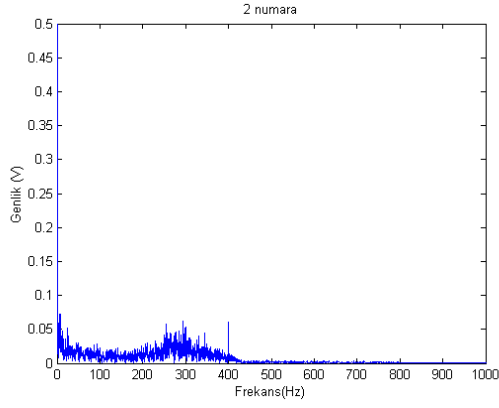
Kanat geçiş frekansındaki sinyale dijital filtreleme uygulanmıştır. 390-410 Hz arasındaki frekanslara MATLAB programı kullanılarak BANDPASS filtrelemesi uygulanmıştır. Bu haldeki değerlerin bir tam çark dönüşü süresince değişimi grafiklerde gösterilmiştir.

4.2.3.1 Ölçüm Sonuçları

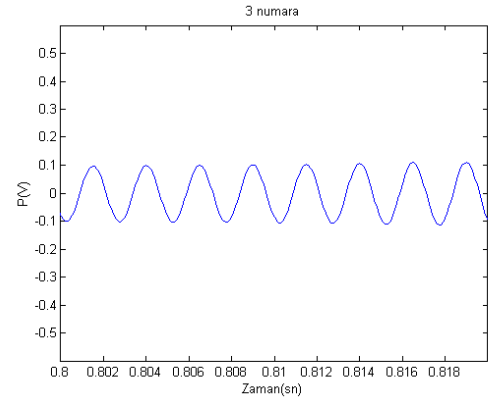
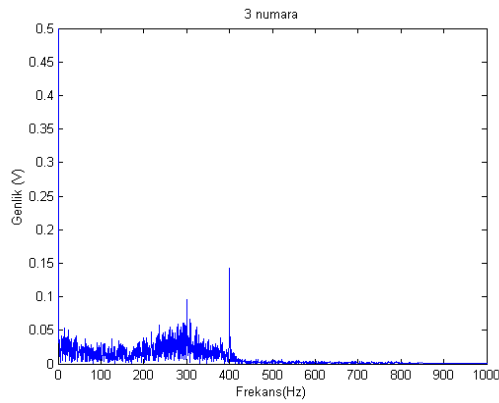
$Q=0 \cdot Q_N$ için engelsiz durumda zamana bağlı basınç ölçümleri



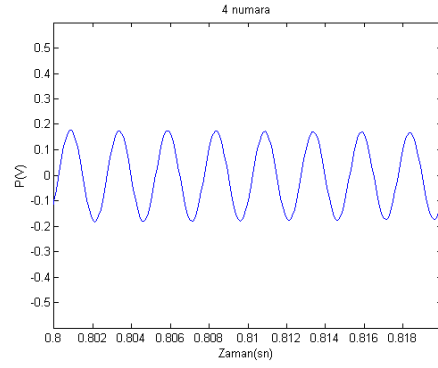
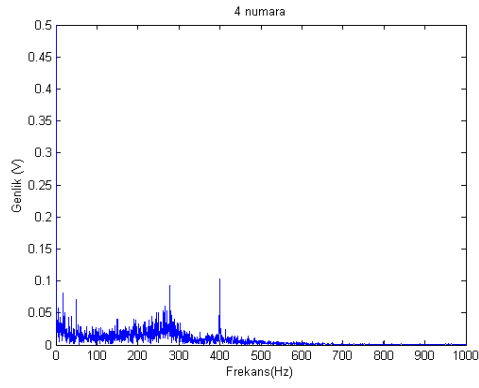
a) $p_{ort} = -0,005V = -0,01 \text{ cmSS} = -0,085 \text{ mHava}$



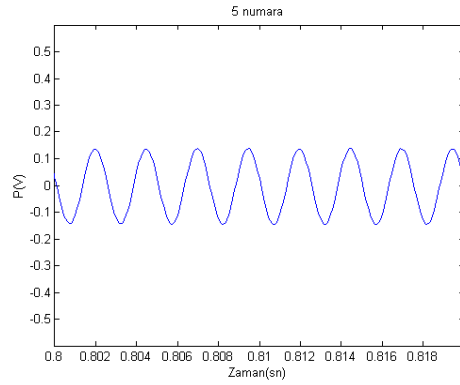
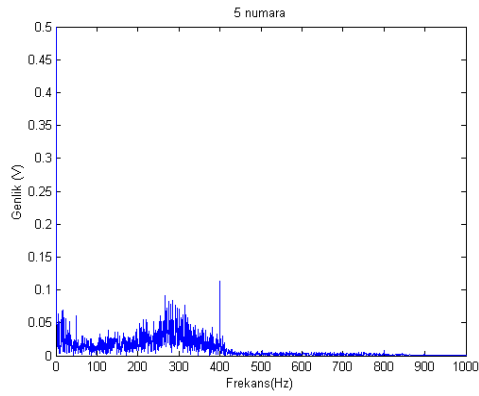
b) $p_{ort} = 1,63V = 3,26 \text{ cmSS} = 27,7 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = 1,79 V = 3,58 \text{ cmSS} = 30,4 \text{ mHava}$



d) $p_{ort} = 2,57 \text{ V} = 5,14 \text{ cmSS} = 43,7 \text{ mHava}$

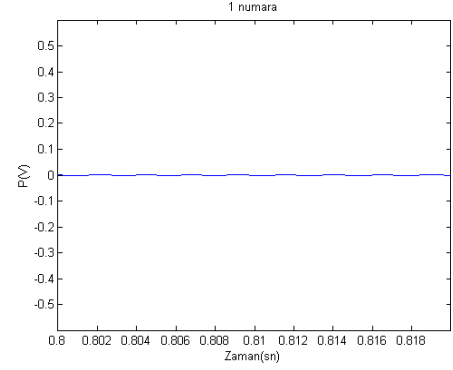
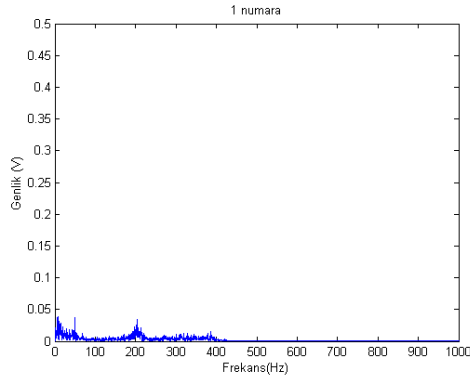


e) $p_{ort} = 3,04 \text{ V} = 6,08 \text{ cmSS} = 51,7 \text{ mHava}$

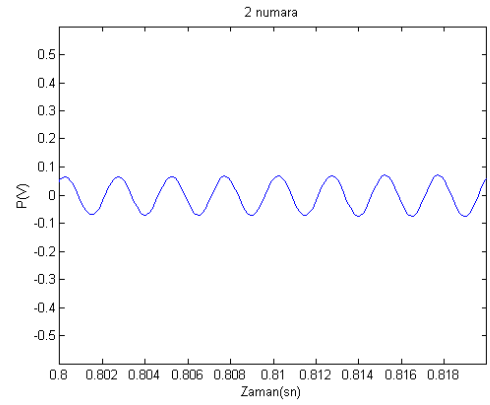
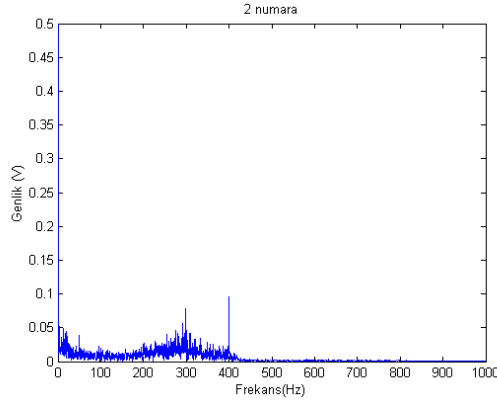
Şekil 4.7: Engelsiz durumda kapalı vana konumunda çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Engelsiz durumda, kapalı vana konumunda çark girişinden çıkışına doğru basınç çalkantılarının ortalama değeri düzgün bir biçimde artmaktadır. Yapılan spektrum analizine bakılırsa emme borusu dışındaki tüm noktalarda maksimum tepe kanat geçiş frekansında (kgf) ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.7). Emme borusundan alınan ölçümlerde kgf görülmemektedir (Şekil 4.7). Kgf'deki basınç çalkantılarını incelersek 4 numarada genlik değeri daha fazla çıkmıştır (Şekil 4.7).

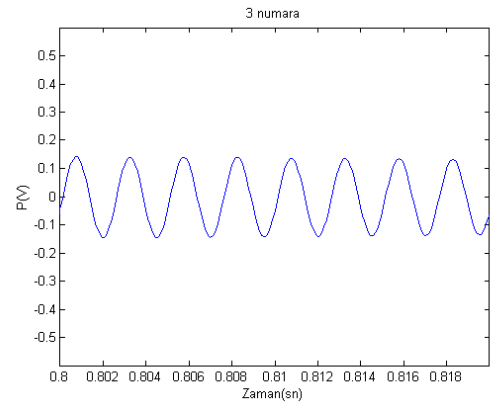
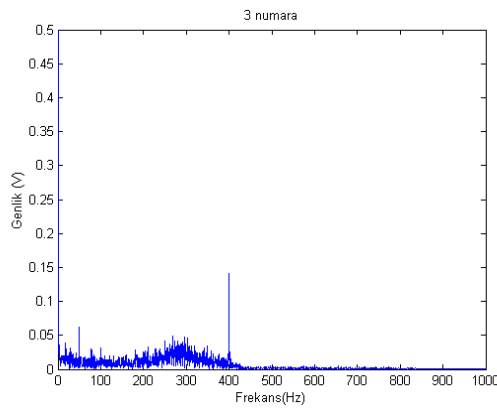
$Q=0 \cdot Q_N$ için engelli durumda zamana bağlı basınç ölçümleri



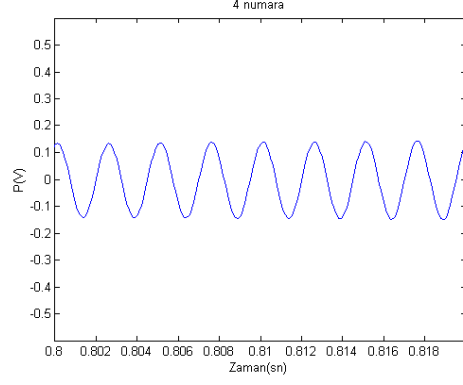
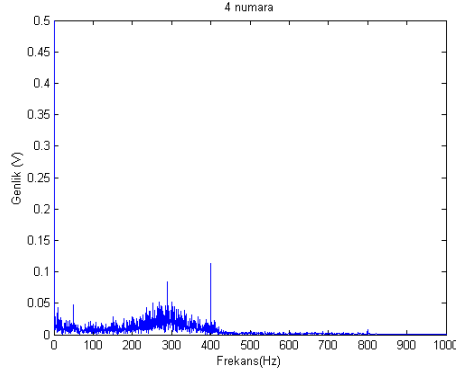
a) $p_{ort} = -0,01 \text{ V} = -0,02 \text{ cmSS} = -0,17 \text{ mHava}$



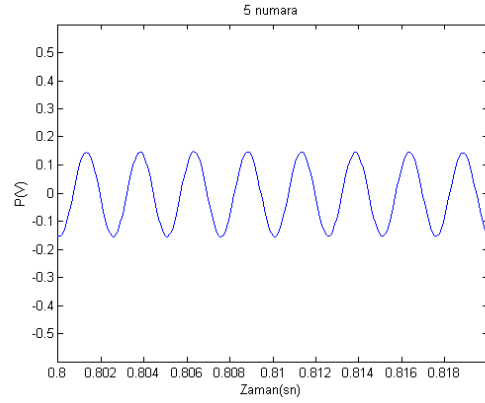
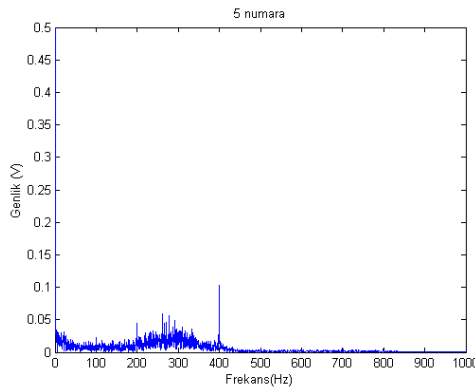
b) $p_{ort} = 1,87 \text{ V} = 3,74 \text{ cmSS} = 31,8 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = 1,96 \text{ V} = 3,92 \text{ cmSS} = 33,3 \text{ mHava}$



d) $p_{ort} = 2,81 \text{ V} = 5,62 \text{ cmSS} = 47,8 \text{ mHava}$

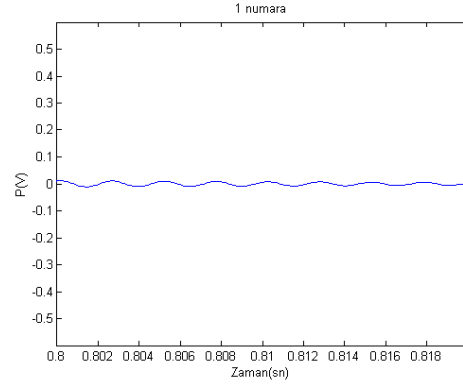
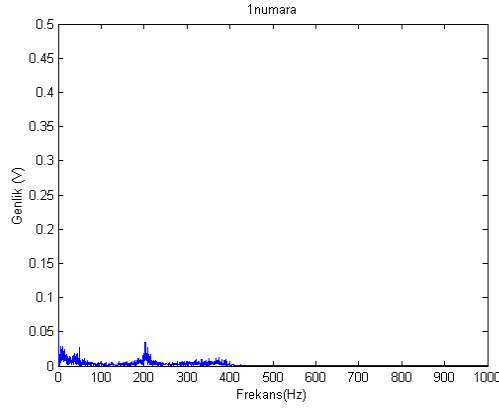


e) $p_{ort} = 3,28 \text{ V} = 6,56 \text{ cmSS} = 55,8 \text{ mHava}$

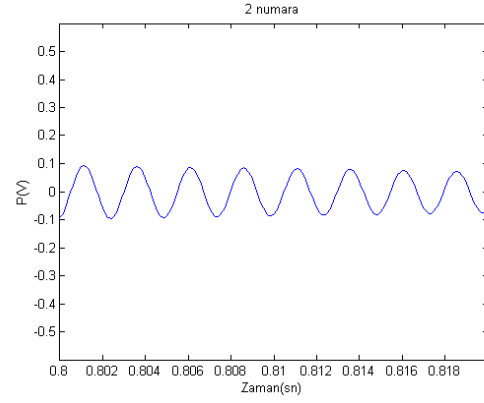
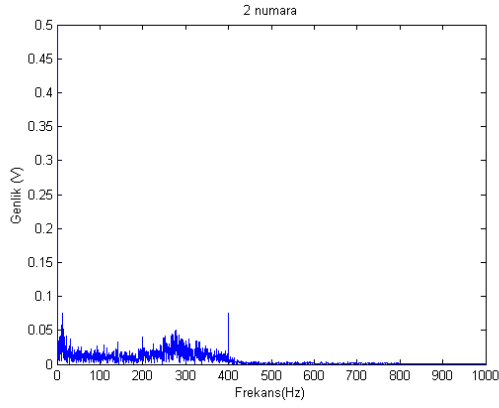
Şekil 4.8: Engelli durumda kapalı vana konumunda çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Engelli durumda da çark girişinden çıkışına doğru basınç çalkantılarının ortalama değerindeki artma kendini göstermektedir. Engelin çark çıkışında yaratmış olduğu rahatsızlığın çark boyunca ilerlediği görülmektedir (Şekil 4.8). Engelli durumda, engelsiz durumdaki ile aynı noktalardan alınan değerlere bakılırsa; engelli durumdaki değerler çark girişine kadar hep fazla çıkmıştır. Yapılan spektrum analizine bakılırsa emme borusu dışındaki tüm noktalarda kgf'de maksimum tepe olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 4.8). Emme borusundan alınan ölçümlerde kgf yakalanmamıştır (Şekil 4.8). Engelli durumda basınç çalkantılarının genlikleri biraz daha büyümektedir. Kgf'deki basınç çalkantılarını incelersek 3 numarada yani çarkın orta kısmında genlik değeri daha fazla çıkmaktadır (Şekil 4.8).

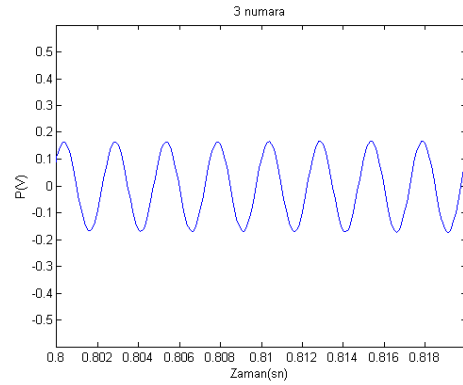
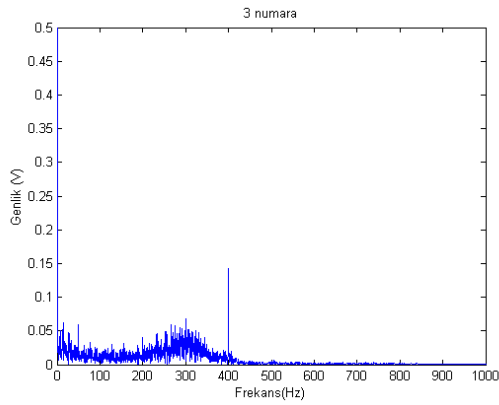
$Q = 0,085 \cdot Q_N$ için engelsiz durumda zamana bağlı basınç ölçümleri



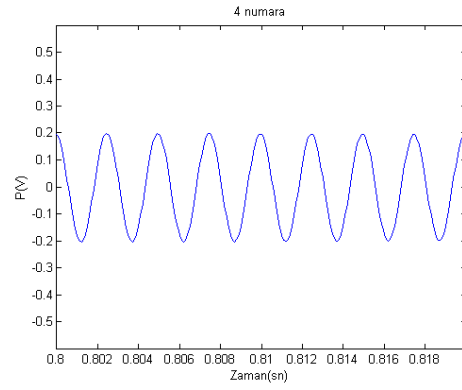
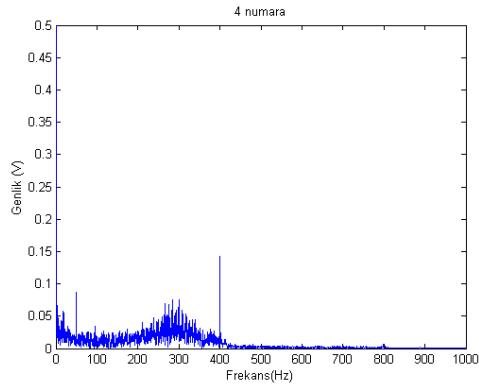
a) $p_{ort} = -0,025 \text{ V} = -0,05 \text{ cmSS} = -0,425 \text{ mHava}$



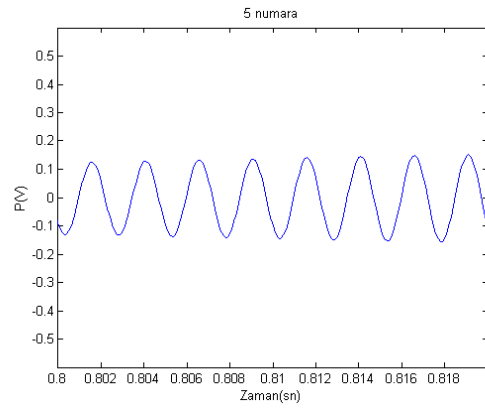
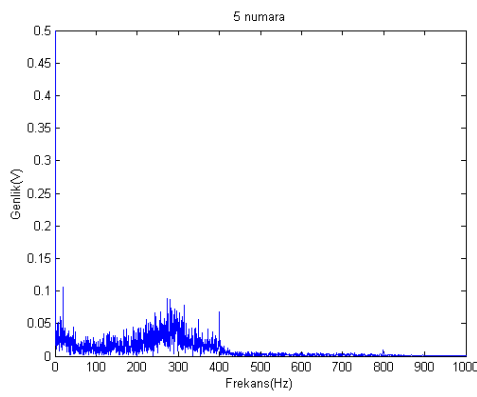
b) $p_{ort} = 1,64 \text{ V} = 3,28 \text{ cmSS} = 27,9 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = 1,78 \text{ V} = 3,56 \text{ cmSS} = 30,3 \text{ mHava}$



$$d) p_{ort} = 2,41 \text{ V} = 4,82 \text{ cmSS} = 41 \text{ mHava}$$

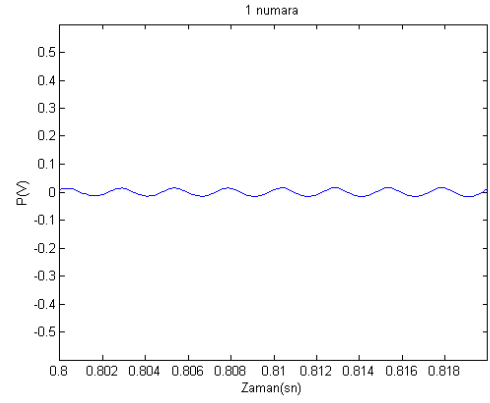
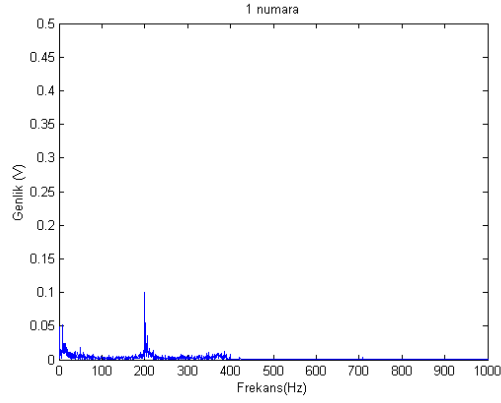


$$e) p_{ort} = 2,93 \text{ V} = 5,86 \text{ cmSS} = 49,8 \text{ mHava}$$

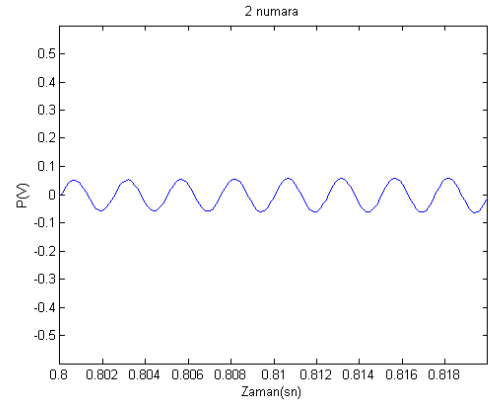
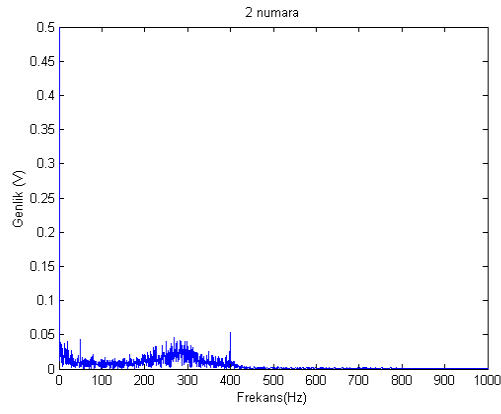
Şekil 4.9: Engelsiz durumda ölçülen minimum debi için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Engelsiz durumda tasarım debisinin % 8.5'i olan debide çark girişinden çıkışına doğru basınç çalkantılarının ortalama değeri düzgün bir biçimde artmaktadır. Yapılan spektrum analizine bakılırsa 1 ve 5 numara dışındaki tüm ölçüm noktalarında kgf'de en yüksek genlik görülmektedir (Şekil 4.9). Emme borusundan alınan ölçümlerde kgf görülmemektedir (Şekil 4.9). Kgf'deki basınç çalkantılarını incelersek 4 numarada genlik değeri daha fazla çıkmıştır (Şekil 4.9).

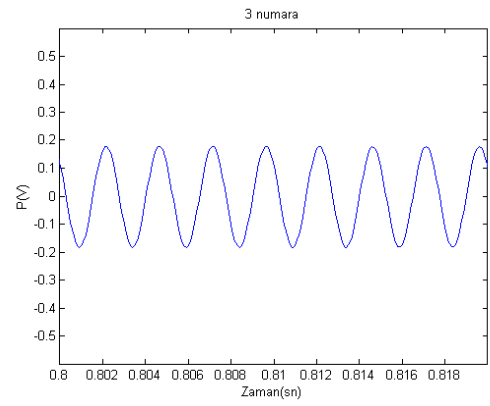
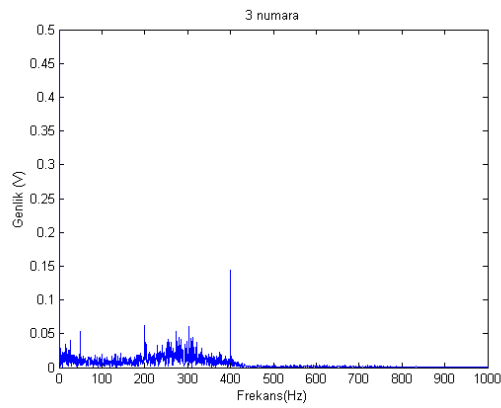
$Q = 0,085 \cdot Q_N$ için engelli durumda zamana bağlı basınç ölçümleri



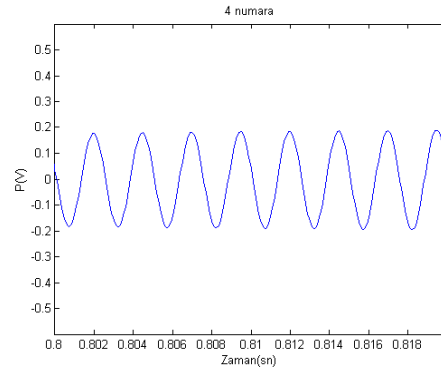
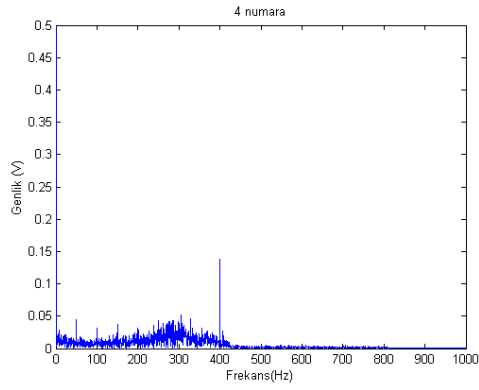
a) $p_{ort} = -0,025V = -0,05 \text{ cmSS} = -0,425 \text{ mHava}$



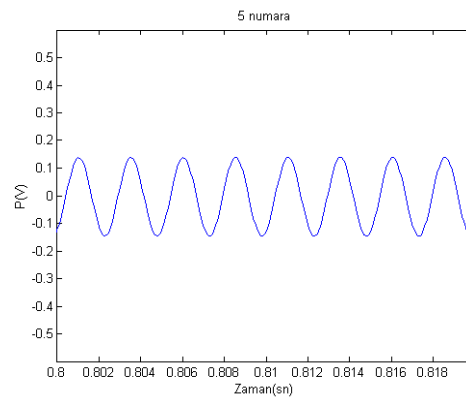
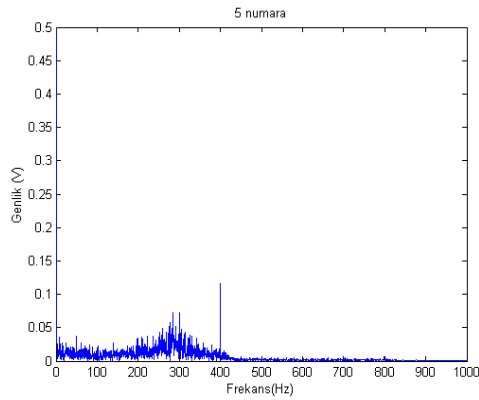
b) $p_{ort} = 1,71 \text{ V} = 3,42 \text{ cmSS} = 29,07 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = 1,97 \text{ V} = 3,94 \text{ cmSS} = 33,5 \text{ mHava}$



d) $p_{ort} = 2,58 \text{ V} = 5,16 \text{ cmSS} = 43,9 \text{ mHava}$

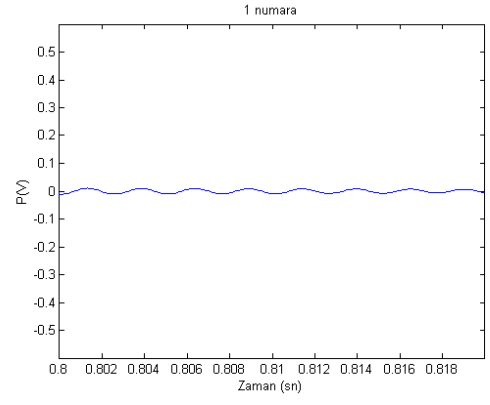
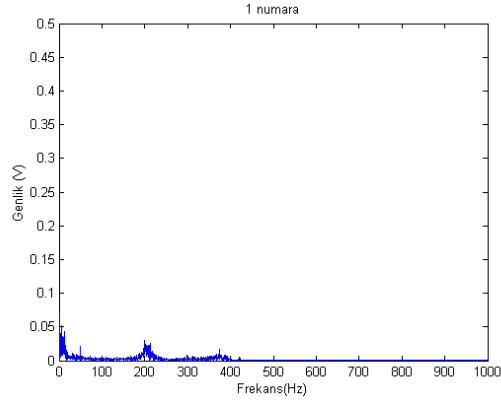


e) $p_{ort} = 3,4 \text{ V} = 6,8 \text{ cmSS} = 57,8 \text{ mHava}$

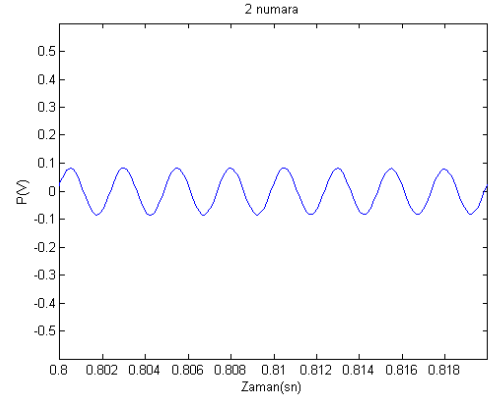
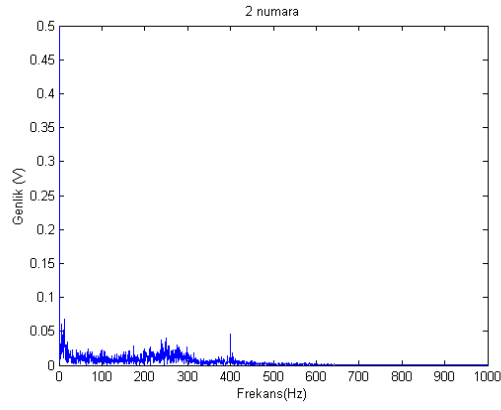
Şekil 4.10: Engelli durumda minimum debi için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Engelli durumda, tasarım debisinin %8.5'i için engelin çark çıkışında yaratmış olduğu rahatsızlığın çarkın girişine doğru ilerlediği görülmektedir. Engelli durumdaki statik basınç değerleri engelsiz durumdaki değerlerden bir miktar büyüktür (Şekil 4.10). Emme borusu haricindeki pozisyonlarda kanat geçiş frekanslarındaki tepeler görülmektedir (Şekil 4.10).

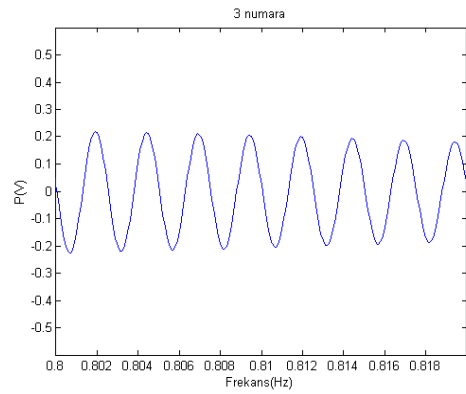
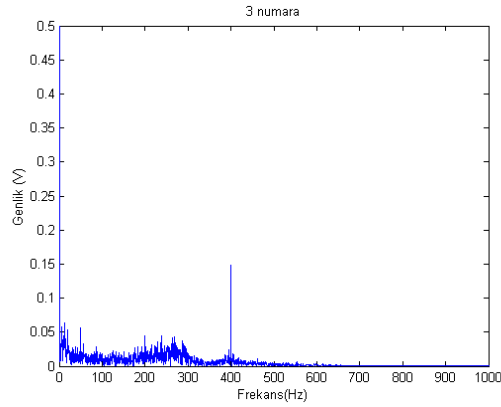
$Q = 0,31 \cdot Q_N$ için engelsiz durumda zamana bağlı basınç ölçümleri



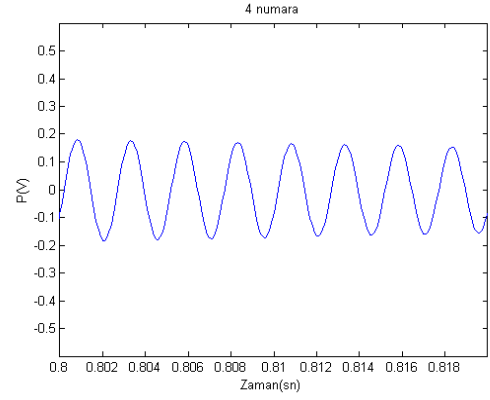
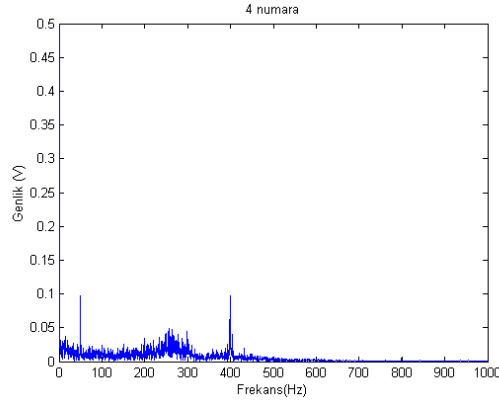
a) $p_{ort} = -0,035 \text{ V} = -0,07 \text{ cmSS} = -0,6 \text{ mHava}$



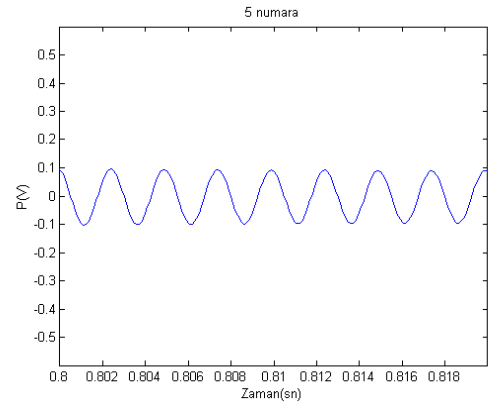
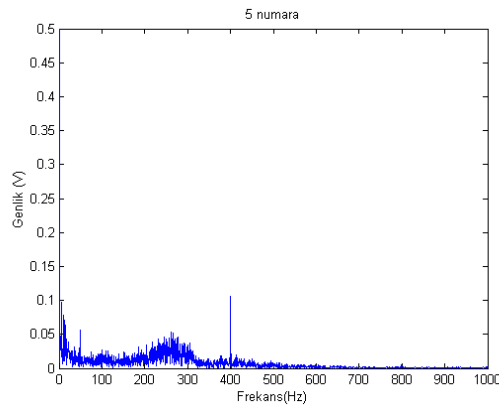
b) $p_{ort} = 1,18 \text{ V} = 2,36 \text{ cmSS} = 20,06 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = 1,28 \text{ V} = 2,56 \text{ cmSS} = 21,25 \text{ mHava}$



d) $p_{ort} = 1,76 \text{ V} = 3,52 \text{ cmSS} = 29,9 \text{ mHava}$

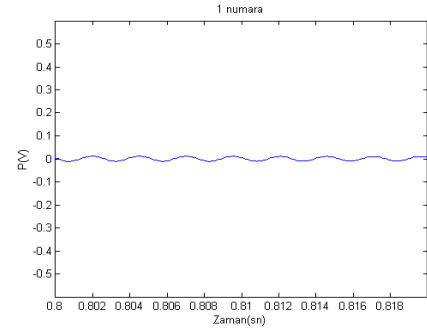
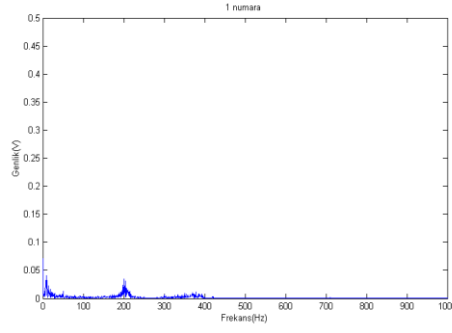


e) $p_{ort} = 2,37 \text{ V} = 4,74 \text{ cmSS} = 40,3 \text{ mHava}$

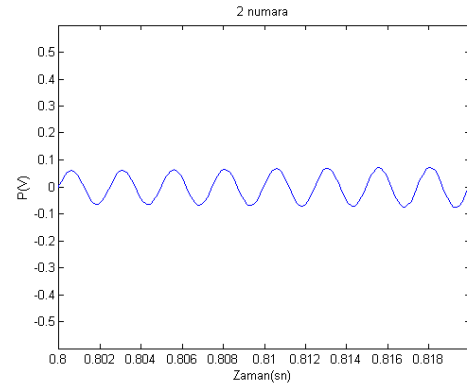
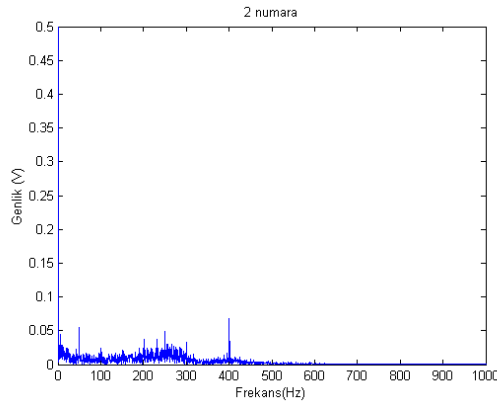
Şekil 4.11: Engelsiz durumda tasarım debisinin %31'i için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Engelsiz durumda tasarım debisinin %31'i için çark girişinden çıkışına doğru basınç çalkantılarının ortalama değeri yine artmaktadır. Diğer debi değerlerinde gözlenenden farklı olarak 2 ile 3 numaralı ölçüm noktalarındaki değerler birbirine çok yakın çıkmıştır (Şekil 4.11). Emme borusundan alınan ölçümler çark çıkışında oluşan vorteks alanının oluşturduğu etkinin emme borusuna kadar ulaşmadığını göstermektedir (Şekil 4.11). 4 numaralı noktada mil devrindeki genliğin büyüklüğü kgf'dekine yakın çıkmıştır (Şekil 4.11).

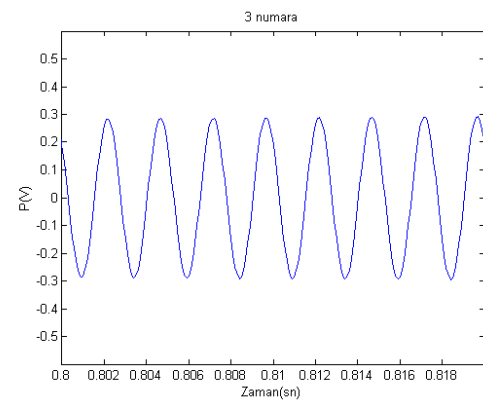
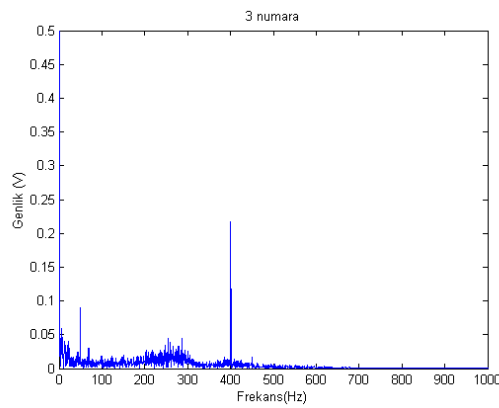
$Q = 0,31 \cdot Q_N$ için engelli durumda zamana bağlı basınç ölçümleri



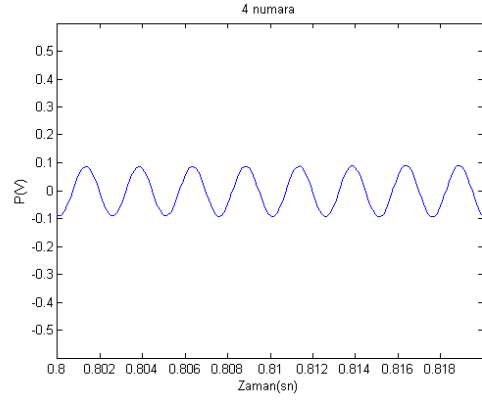
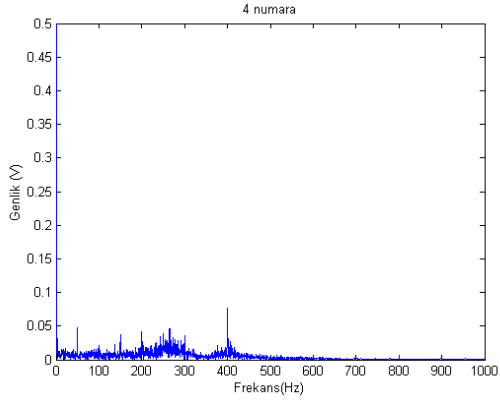
a) $p_{ort} = -0,036 \text{ V} = -0,072 \text{ cmSS} = -0,61 \text{ mHava}$



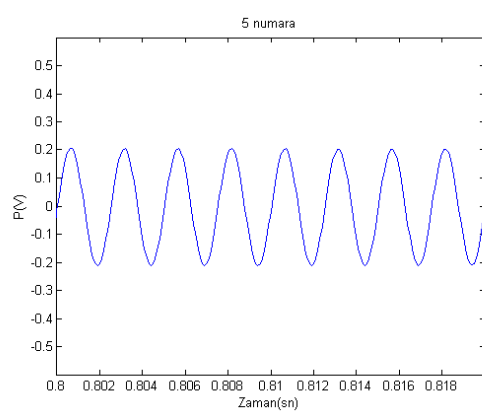
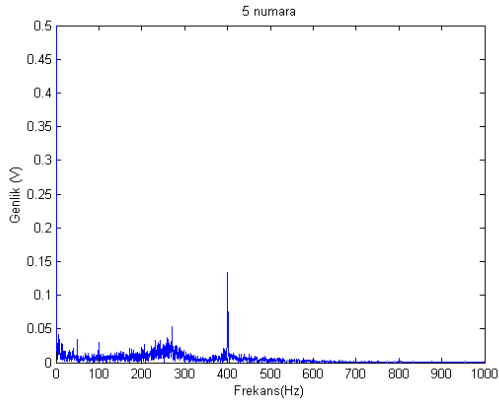
b) $p_{ort} = 1,26 \text{ V} = 2,52 \text{ cmSS} = 21,4 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = 1,28 \text{ V} = 2,56 \text{ cmSS} = 21,8 \text{ mHava}$



d) $p_{ort} = 2,0 \text{ V} = 4,0 \text{ cmSS} = 34 \text{ mHava}$

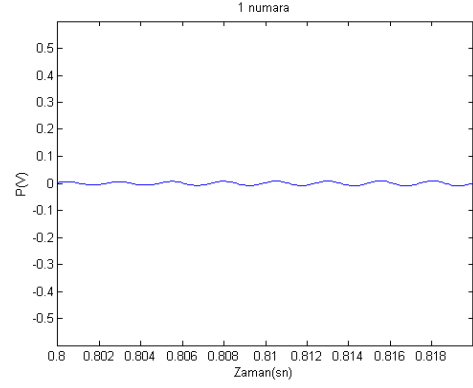
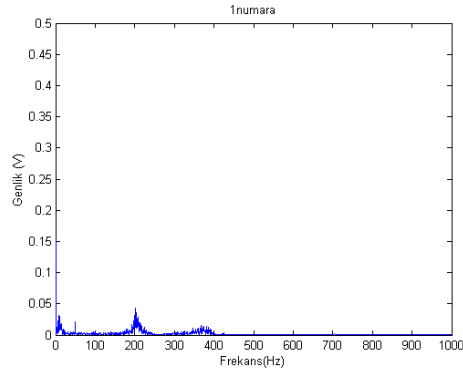


e) $p_{ort} = 2,86 \text{ V} = 5,72 \text{ cmSS} = 48,6 \text{ mHava}$

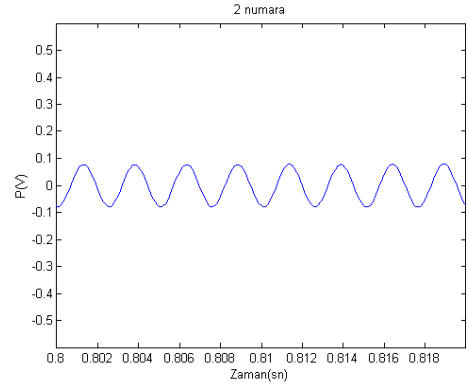
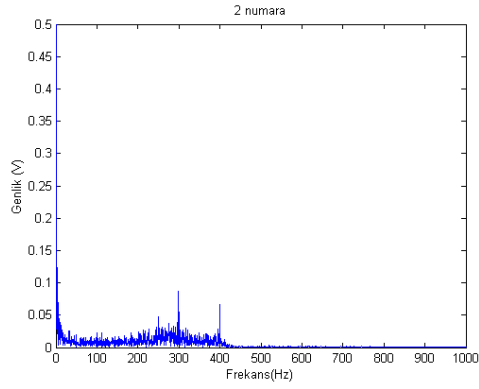
Şekil 4.12: Engelli durumda tasarım debisinin % 31'i için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Tasarım debisinin %31'i için engelli durumda da çark girişinden çıkışına doğru basınç artışı gözlemlenmektedir (Şekil 4.12). Engelin çark çıkışında yaratmış olduğu rahatsızlığın çark ortasına kadar (3 numaralı bölgeye kadar) ilerlediği görülmektedir, daha iç bölgelerde engelin etkisi kaybolmaktadır (Şekil 4.12). 4 ve 5 numaralı ölçüm noktalarında mil devri ve katlarında da tepeler görülmektedir (Şekil 4.12). Kgf'deki basınç çalkantılarını incelersek 3 numarada yani çarkın orta kısmındaki genlik değeri daha fazla çıkmaktadır (Şekil 4.12).

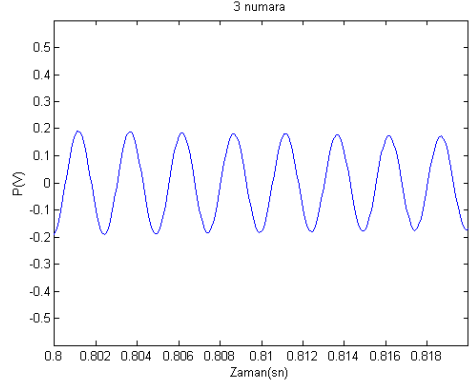
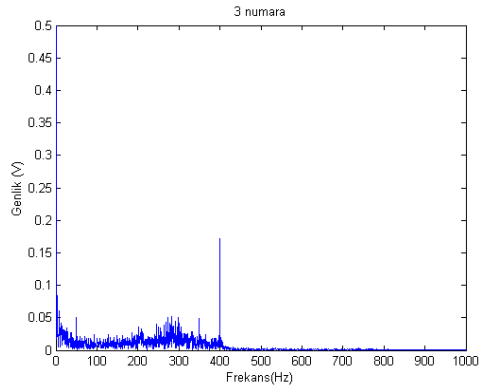
$Q = 0,64 \cdot Q_N$ için engelsiz durumda zamana bağlı basınç ölçümleri



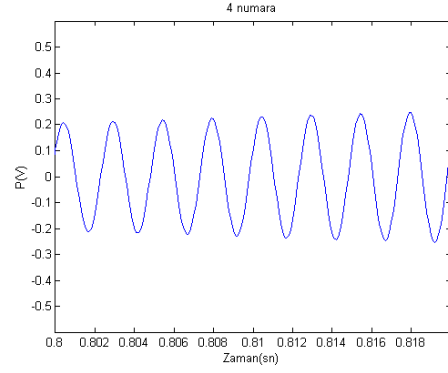
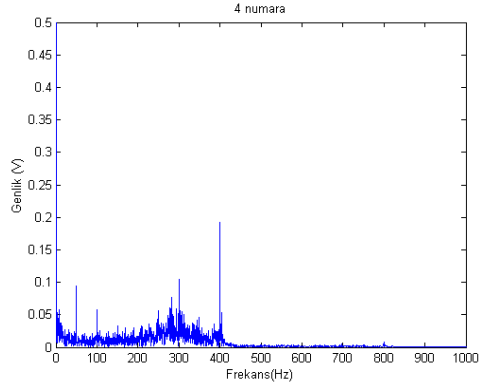
a) $p_{ort} = -0,075 \text{ V} = -0,15 \text{ cmSS} = -1,275 \text{ mHava}$



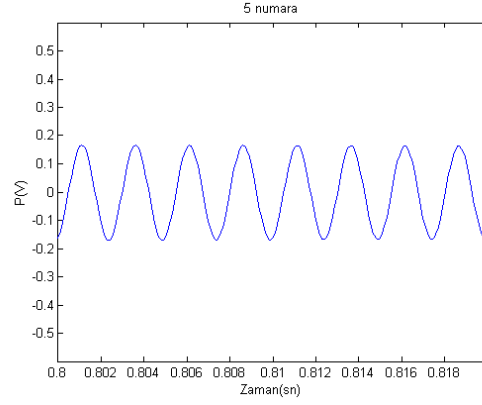
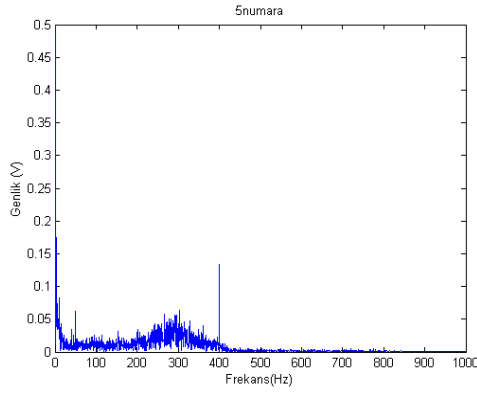
b) $p_{ort} = 0,846 \text{ V} = 1,692 \text{ cmSS} = 14,4 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = 0,714 \text{ V} = 1,428 \text{ cmSS} = 12,1 \text{ mHava}$



$$d) p_{\text{ort}} = 1,077 \text{ V} = 2,154 \text{ cmSS} = 18,3 \text{ mHava}$$

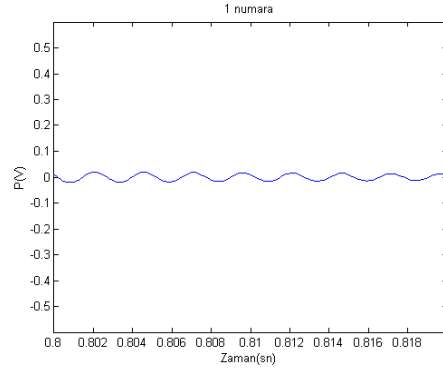
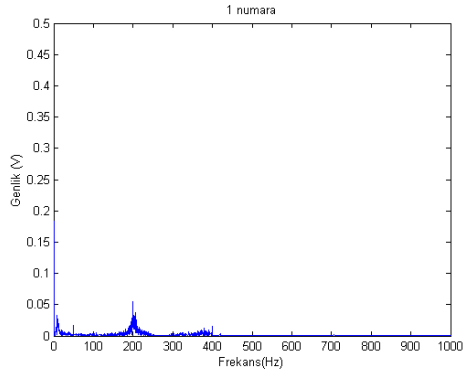


$$e) p_{\text{ort}} = 1,8 \text{ V} = 3,6 \text{ cmSS} = 30,6 \text{ mHava}$$

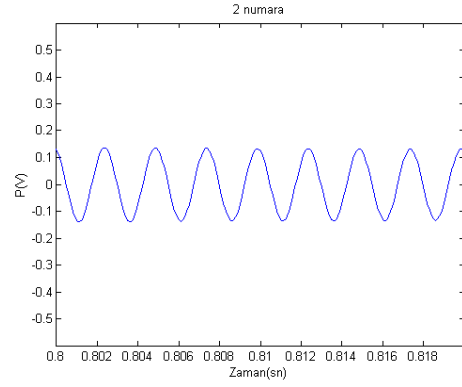
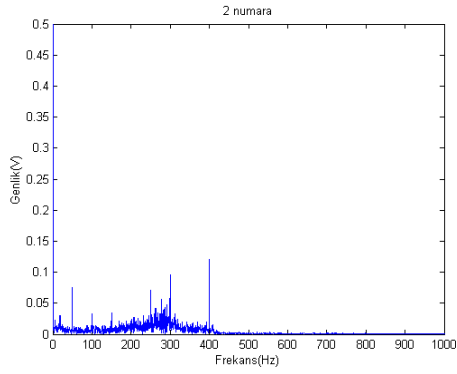
Şekil 4.13: Engelsiz durumda tasarım debisinin % 64'ü için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Engelsiz durumda tasarım debisinin %64'ü için çark girişinden çıkışına doğru basınç çalkantılarının ortalama değerindeki artma orta kısma kadar devam edip burada (2-3 arası) bir azalma göstermekte ve sonra çıkışa doğru yeniden artmaktadır (Şekil 4.13). 2 numarada 300 Hz değerindeki tepe kgf değerinden daha büyük çıkmıştır (Şekil 4.13). 4 numaralı noktada mil devri ve katlarındaki tepeler açıkça görülmektedir (Şekil 4.13).

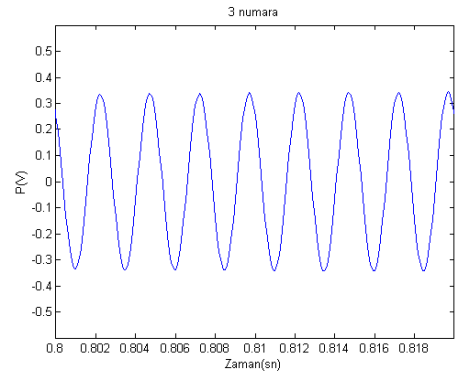
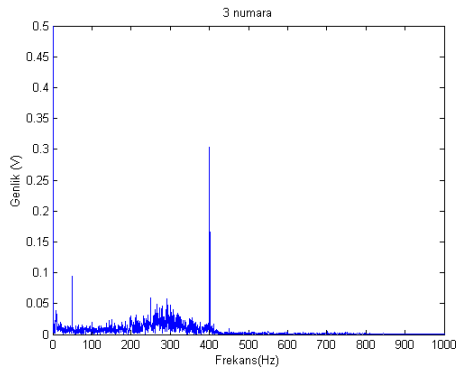
$Q = 0,65 \cdot Q_N$ için engelli durumda zamana bağlı basınç ölçümleri



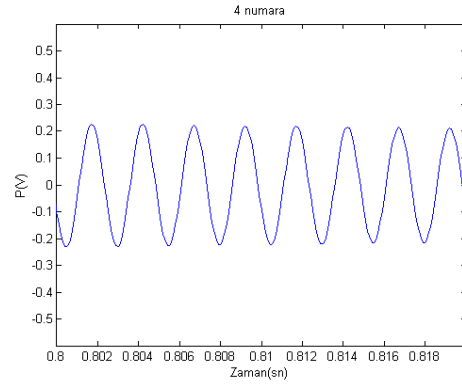
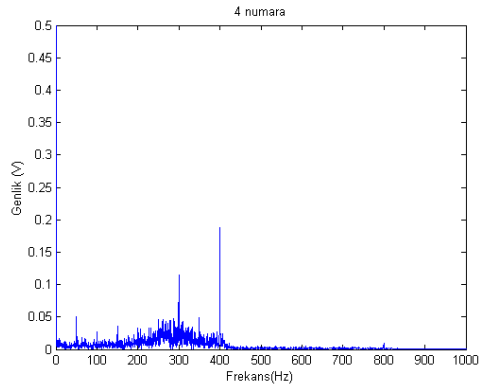
a) $p_{ort} = -0,09 \text{ V} = -0,18 \text{ cmSS} = -1,53 \text{ mHava}$



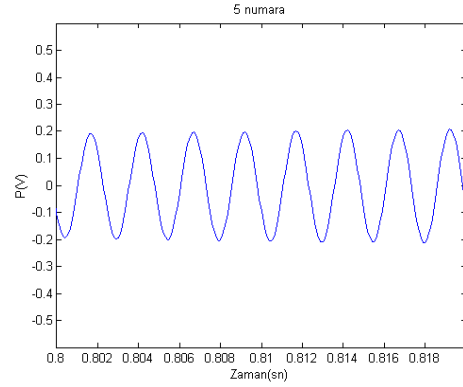
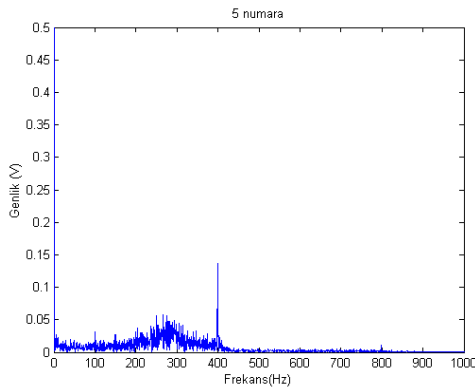
b) $p_{ort} = 0,88 \text{ V} = 1,76 \text{ cmSS} = 14,96 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = 0,75 \text{ V} = 1,5 \text{ cmSS} = 12,75 \text{ mHava}$



d) $p_{ort} = 1,46 \text{ V} = 2,92 \text{ cmSS} = 24,8 \text{ mHava}$

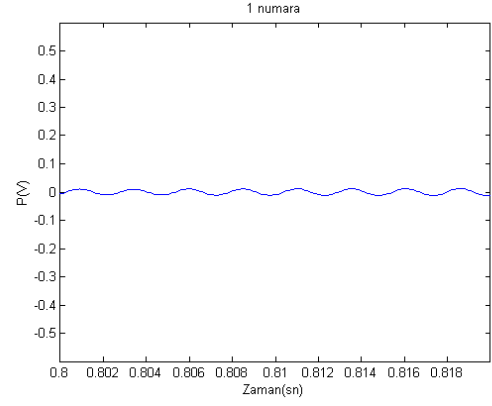
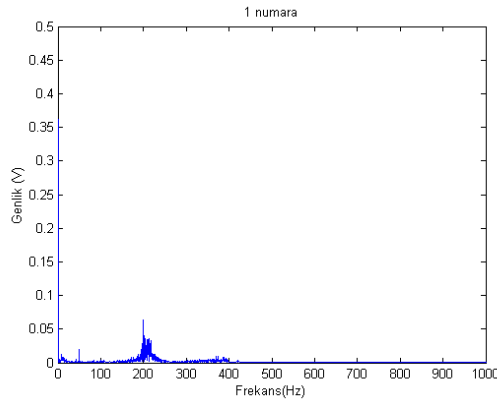


e) $p_{ort} = 2,38 \text{ V} = 4,76 \text{ cmSS} = 40,46 \text{ mHava}$

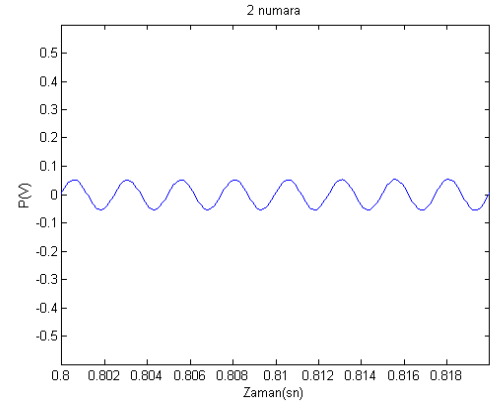
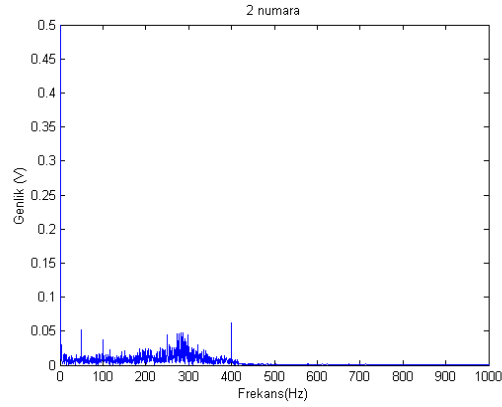
Şekil 4.14: Engelli durumda tasarım debisinin % 65'i için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Tasarım debisinin %65'i için engelli durumda da çark girişinden çıkışına doğru basınç çalkantılarının ortalama değerindeki artma çark ortasına kadar sürmekte burada bir azalma meydana gelmektedir ve sonra çıkışa doğru değer tekrar artmaktadır (Şekil 4.14). Engelin çark çıkışında yaratmış olduğu rahatsızlığın çark ortasına 3 numaraya kadar ilerlediği görülmektedir, daha içeri gittikçe bu değer engelsizle aynı olmaktadır (Şekil 4.14). Yapılan spektrum analizine bakılırsa emme borusu dışındaki tüm noktalarda kgf'de maksimum tepe açıkça görülmektedir (Şekil 4.14). Engelli durumda basınç çalkantılarının genlikleri biraz daha büyümektedir. Kgf'deki basınç çalkantılarını incelersek 3 numarada yani çarkın orta kısmında genlik değeri daha fazla çıkmaktadır (Şekil 4.14).

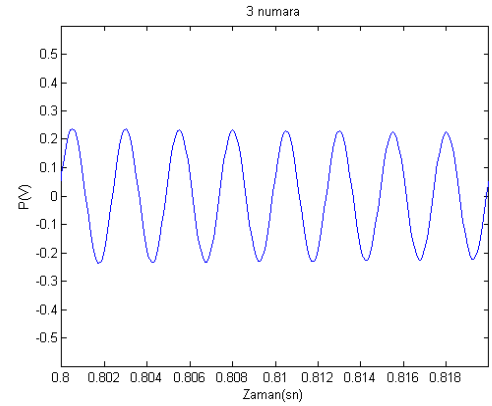
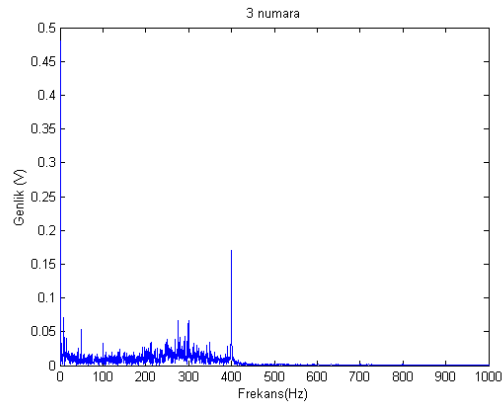
$Q=Q_N$ için engelsiz durumda zamana bağlı basınç ölçümleri



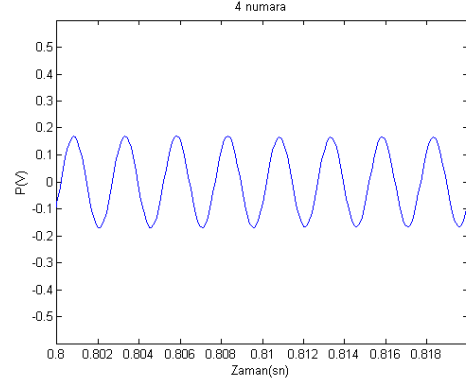
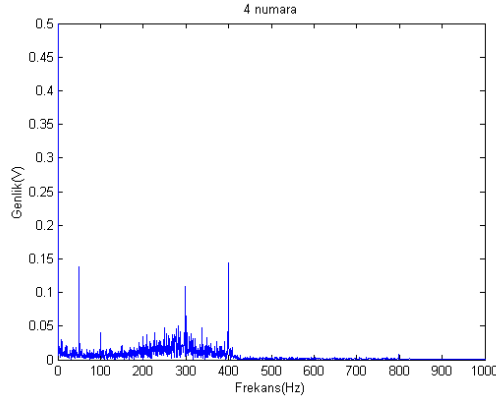
a) $p_{ort} = -0,18 \text{ V} = -0,36 \text{ cmSS} = -3,06 \text{ mHava}$



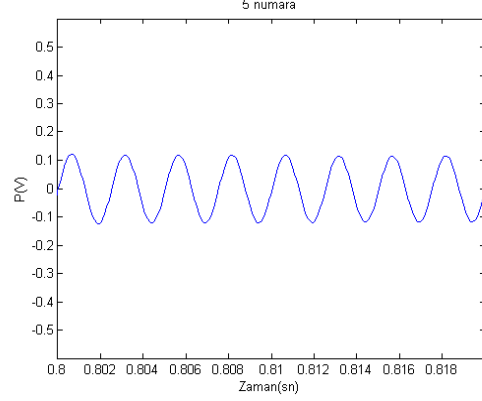
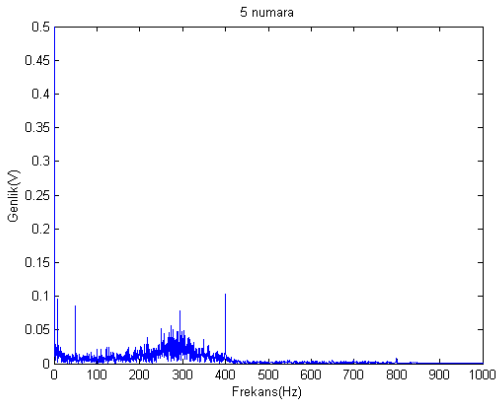
b) $p_{ort} = 0,45 \text{ V} = 0,9 \text{ cmSS} = 7,65 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = 0,24 \text{ V} = 0,48 \text{ cmSS} = 4,08 \text{ mHava}$



d) $p_{ort} = 0,48 \text{ V} = 0,96 \text{ cmSS} = 8,2 \text{ mHava}$

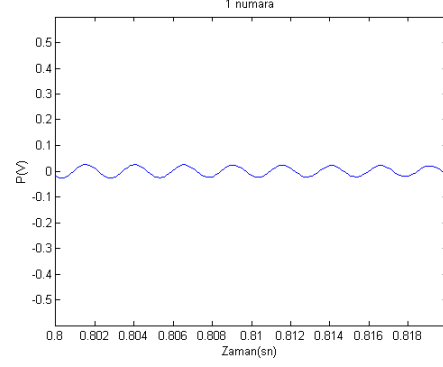
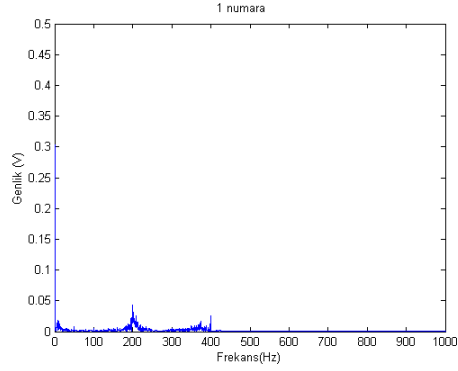


e) $p_{ort} = 1,16 \text{ V} = 2,32 \text{ cmSS} = 19,7 \text{ mHava}$

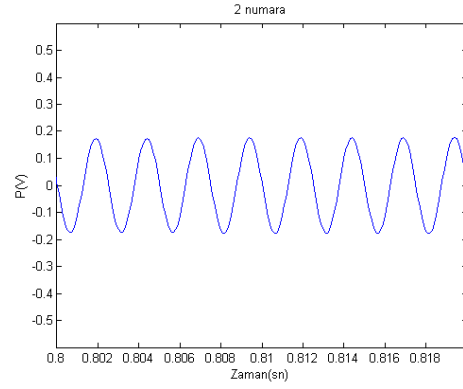
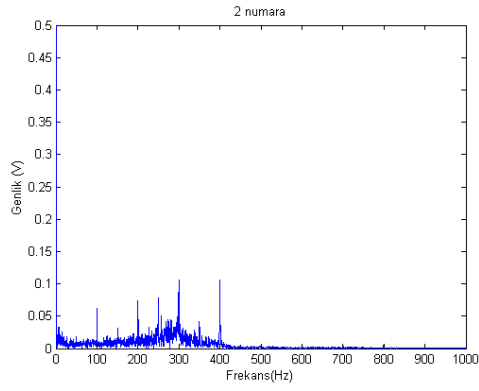
Şekil 4.15: Engelsiz durumda tasarım debisi için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Engelsiz durumda tasarım debisi ($Q=Q_N$) için çark girişinden çıkışına doğru basınç çalkantılarının ortalama değerindeki artma yine orta kısma kadar devam edip burada (2-3 arası) bir azalma göstermekte ve sonra çıkışa doğru yeniden artmaktadır (Şekil 4.15).

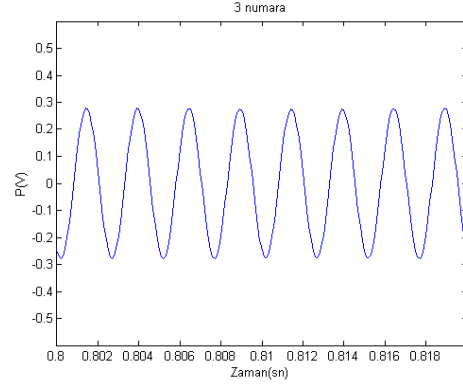
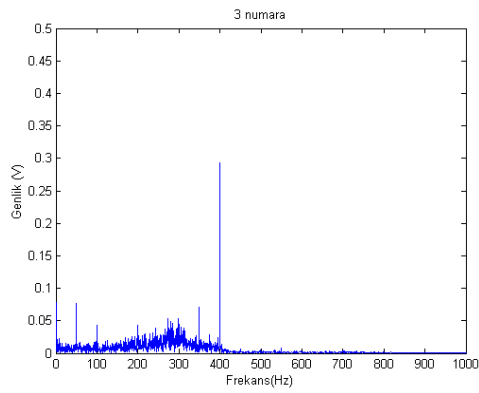
$Q = 0,95 \cdot Q_N$ için engelli durumda zamana bağlı basınç ölçümleri



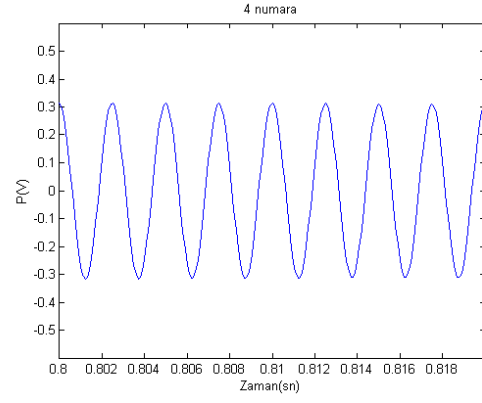
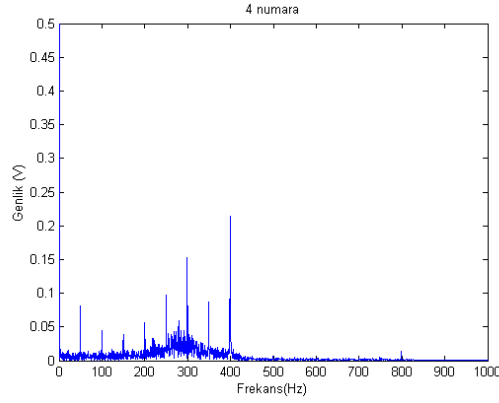
a) $p_{ort} = -0,15 \text{ V} = -0,3 \text{ cmSS} = -2,55 \text{ mHava}$



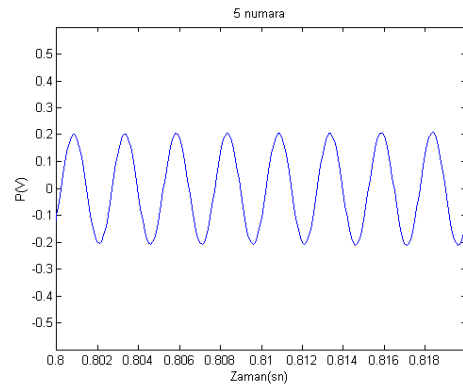
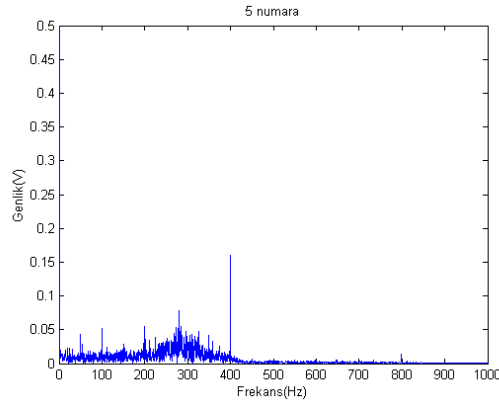
b) $p_{ort} = 0,397 \text{ V} = 0,794 \text{ cmSS} = 6,75 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = -0,12 \text{ V} = 0,24 \text{ cmSS} = -2,04 \text{ mHava}$



d) $p_{ort} = 0,72 \text{ V} = 1,44 \text{ cmSS} = 12,24 \text{ mHava}$

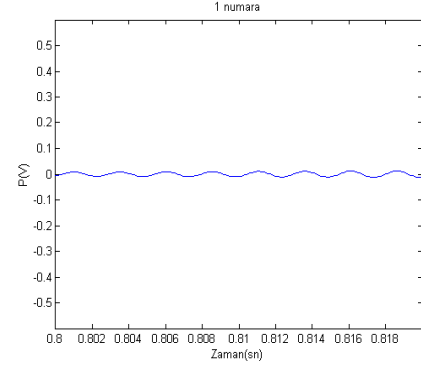
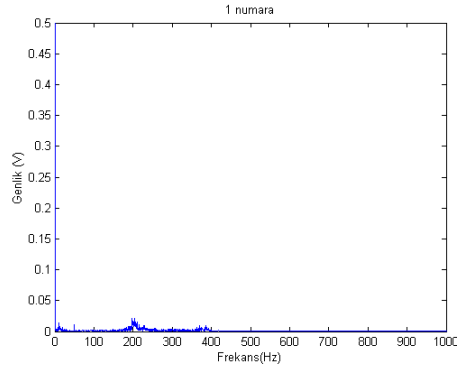


e) $p_{ort} = 1,6 \text{ V} = 3,2 \text{ cmSS} = 27,2 \text{ mHava}$

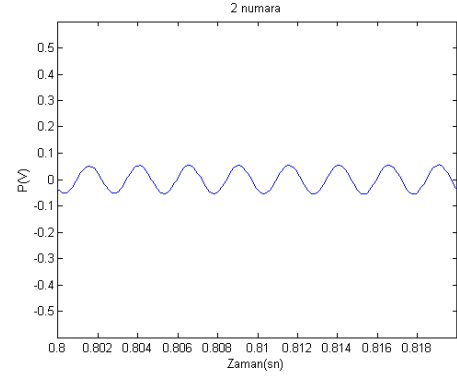
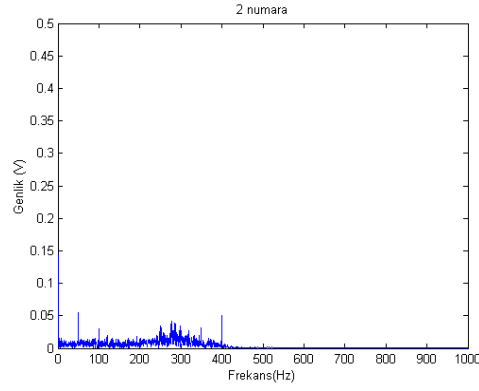
Şekil 4.16: Engelli durumda tasarım debisi için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Tasarım noktasına ait debi değerinde alınan ölçümlerde, engelli durumda da çark girişinden çıkışına doğru basınç çalkantılarının ortalama değerindeki artma çark ortasında azalmakta ve sonra çıkışa doğru değer tekrar artmaktadır (Şekil 4.16). Engelin çark çıkışında yaratmış olduğu rahatsızlığın etkisi çark ortasına yaklaşıldığında ortadan kalkmaktadır. Rahatsızlık 4 ve 3 numara arasına kadar yayılmıştır (Şekil 4.16). Yapılan spektrum analizine bakılırsa emme borusu dışındaki tüm noktalarda kgf'de maksimum tepe açıkça görülmektedir (Şekil 4.16). Engelli durumda basınç çalkantılarının genlikleri biraz daha büyümektedir. Kgf'deki basınç çalkantılarını incelersek 3 numarada yani çarkın orta kısmında genlik değeri daha fazla çıkmaktadır (Şekil 4.16). Ayrıca mil devri ve katlarında da tepeler belirginleşmiştir (Şekil 4.16).

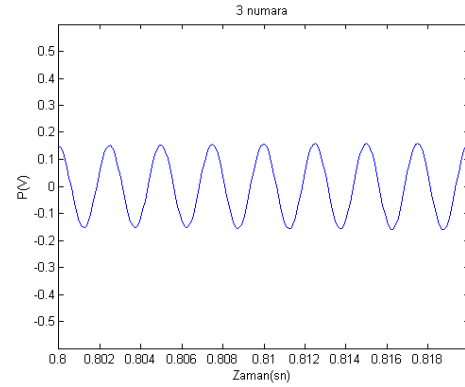
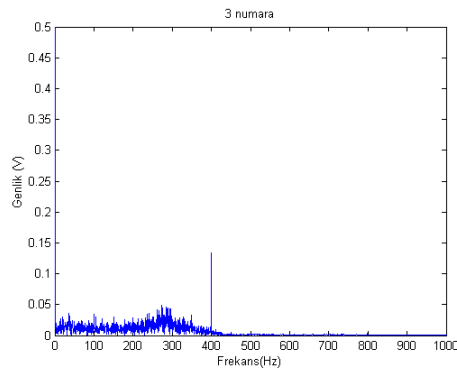
$Q = 1,25 \cdot Q_N$ için engelsiz durumda zamana bağlı basınç ölçümleri



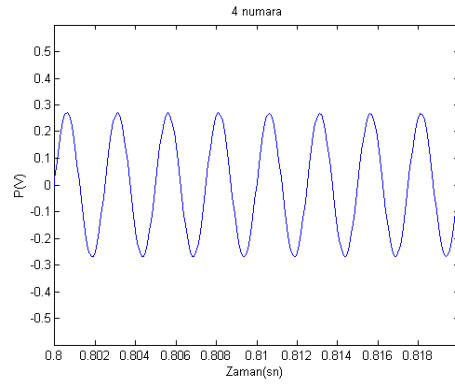
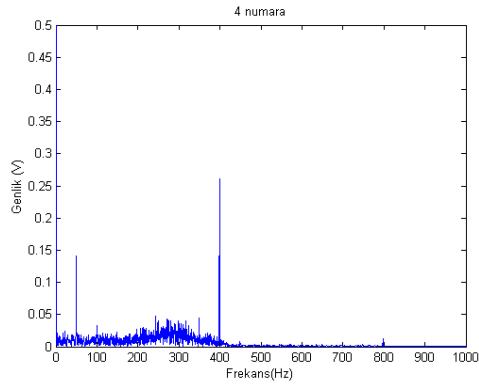
a) $p_{ort} = -0,265 \text{ V} = -0,53 \text{ cmSS} = -4,5 \text{ mHava}$



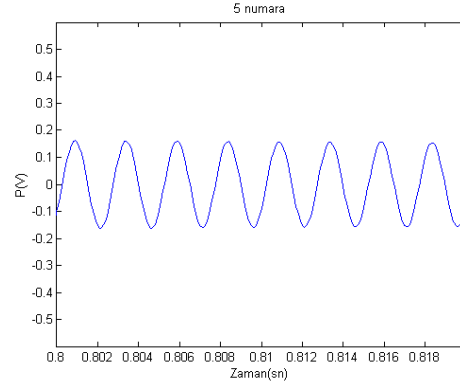
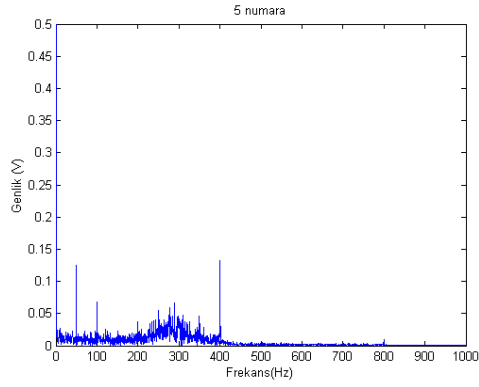
b) $p_{ort} = -0,07 \text{ V} = -0,14 \text{ cmSS} = -1,2 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = -0,2 \text{ V} = -0,4 \text{ cmSS} = -3,4 \text{ mHava}$



d) $p_{ort} = -0,19 \text{ V} = -0,38 \text{ cmSS} = -3,2 \text{ mHava}$

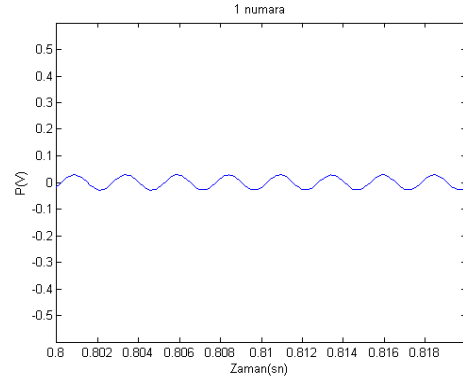
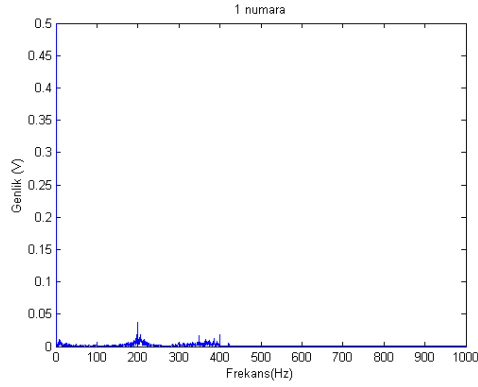


e) $p_{ort} = 0,38 \text{ V} = 0,76 \text{ cmSS} = 6,46 \text{ mHava}$

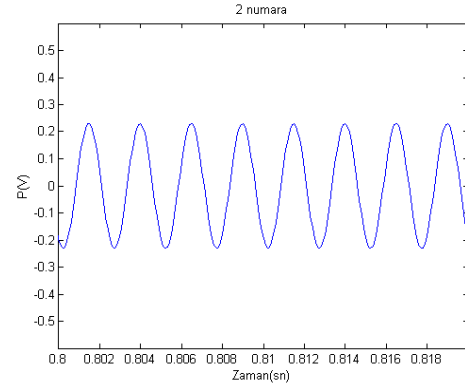
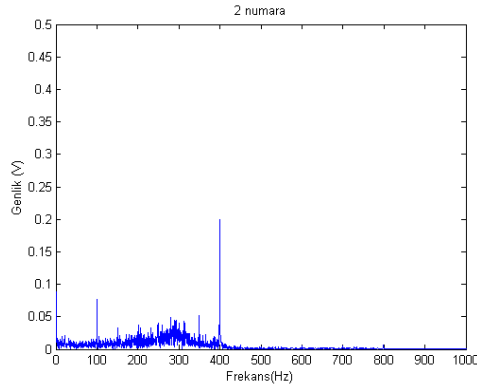
Şekil 4.17: Engelsiz durumda tasarım debisinden fazla durum için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Engelsiz durumda tasarım debisinin 1.25 katındaki debi değerinde çark girişinden çıkışına doğru basınç çalkantılarının ortalama değerindeki artma orta kısma kadar devam edip burada (2-3 arası) bir azalma göstermekte ve sonra çıkışa doğru yeniden artmaktadır (Şekil 4.17). Yapılan spektrum analizine bakılırsa emme borusu dışındaki tüm noktalarda maksimum tepe kgf'de ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.17). Emme borusundan alınan ölçümlerde kgf yakalanmamıştır. Kgf'deki basınç çalkantılarını incelersek 4 numarada genlik değeri daha fazla çıkmıştır (Şekil 4.17). Mil devri ve katlarındaki tepeler de belirgindir (Şekil 4.17).

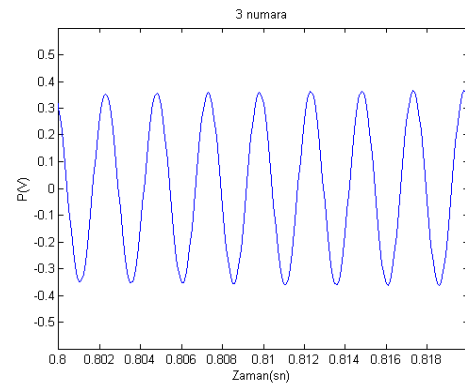
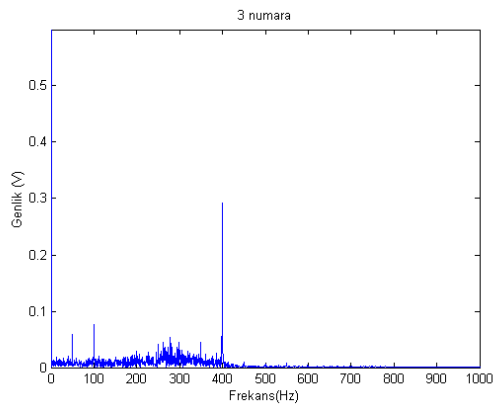
$Q=1,2*Q_N$ için engelli durumda zamana bağlı basınç ölçümleri



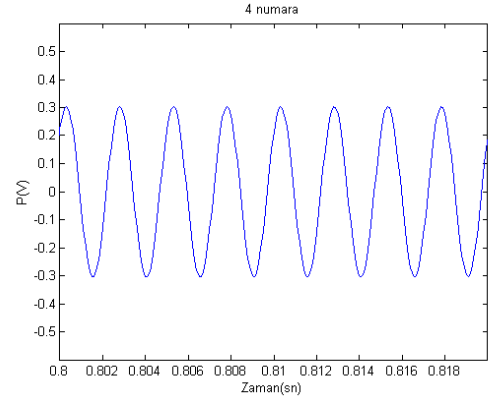
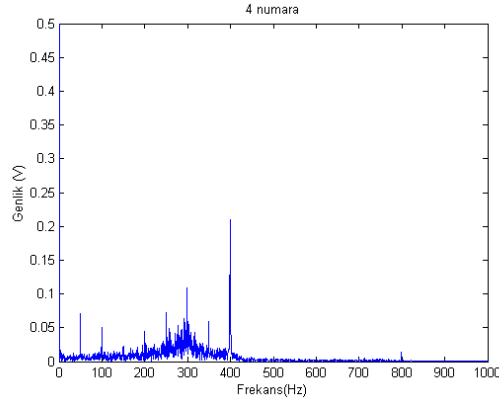
a) $p_{ort} = -0,275 \text{ V} = -0,5 \text{ cmSS} = -4,67 \text{ mHava}$



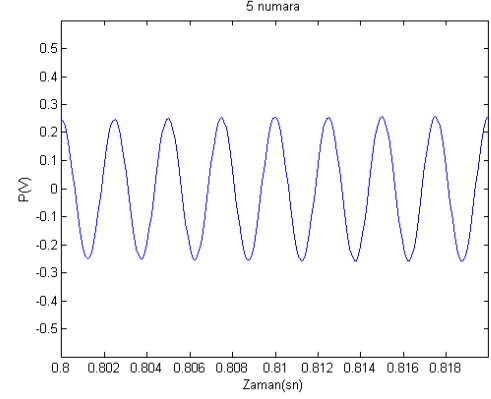
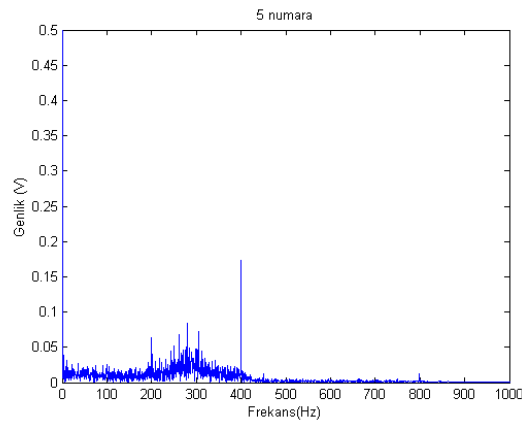
b) $p_{ort} = 0,04 \text{ V} = 0,08 \text{ cmSS} = 0,68 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = -0,74 \text{ V} = -1,48 \text{ cmSS} = -12,6 \text{ mHava}$



d) $p_{ort} = 0,26 \text{ V} = 0,52 \text{ cmSS} = 4,42 \text{ mHava}$

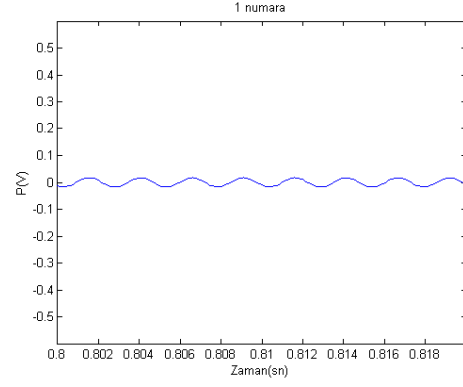
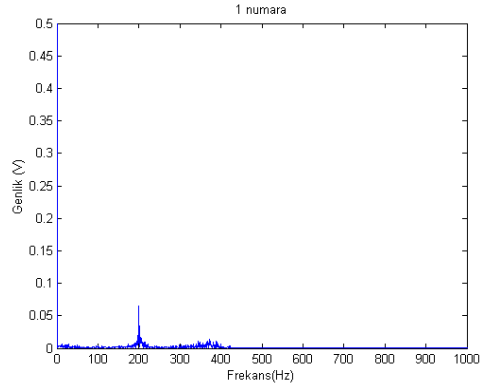


e) $p_{ort} = 1,09 \text{ V} = 2,18 \text{ cmSS} = 18,53 \text{ mHava}$

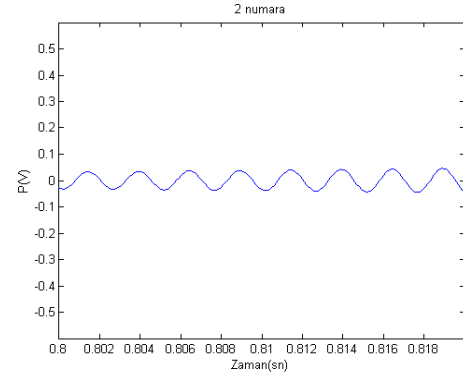
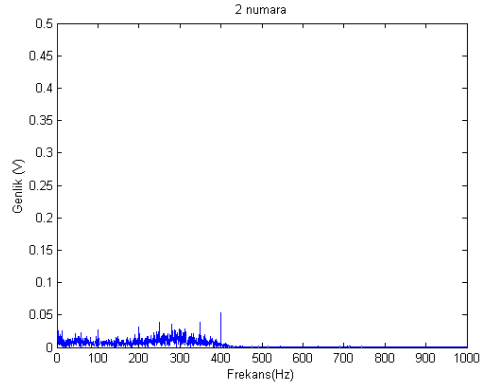
Şekil 4.18: Engelli durumda tasarım debisinden büyük debi için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Tasarım debisinin 1.2 katındaki debi değerinde engelli durumda çark girişinden çıkışına doğru basınç çalkantılarının ortalama değerindeki artma çark ortasında azalma göstermekte ve sonra çıkışa yaklaştıkça tekrar artışa geçmektedir (Şekil 4.18).

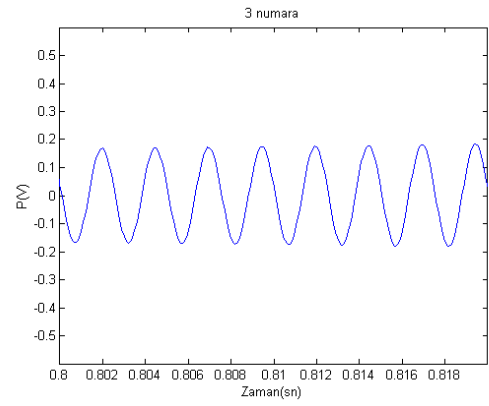
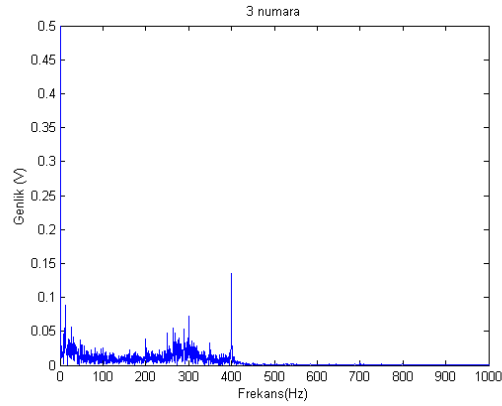
$Q=1,57*Q_N$ için engelsiz durumda zamana bağlı basınç ölçümleri



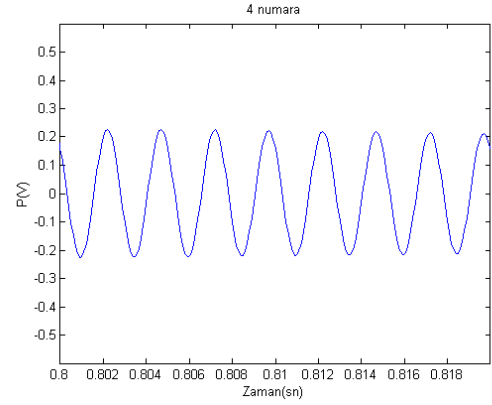
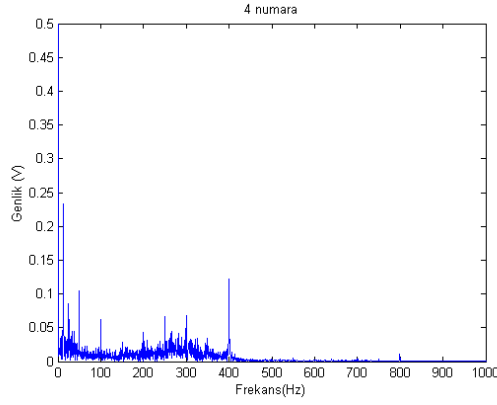
a) $p_{ort} = -0,335 \text{ V} = -0,67 \text{ cmSS} = -5,7 \text{ mHava}$



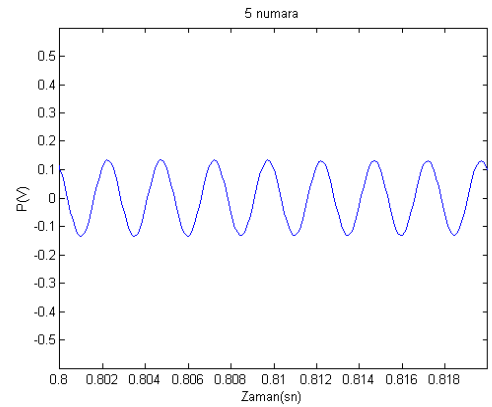
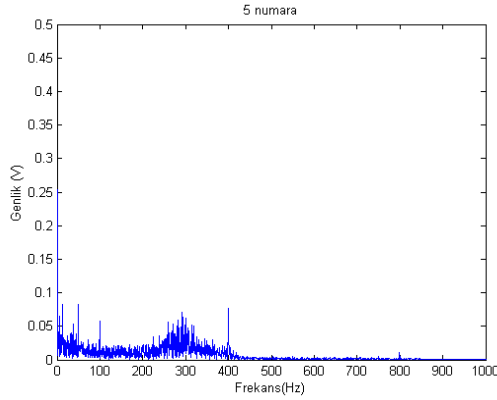
b) $p_{ort} = -0,34 \text{ V} = -0,68 \text{ cmSS} = -5,8 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = -0,39 \text{ V} = -0,78 \text{ cmSS} = -6,6 \text{ mHava}$



d) $p_{ort} = -0,67 \text{ V} = -1,34 \text{ cmSS} = -11,4 \text{ mHava}$

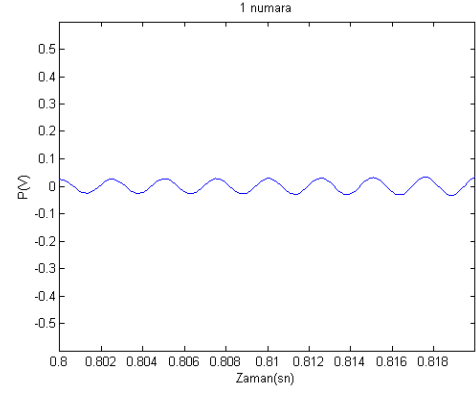
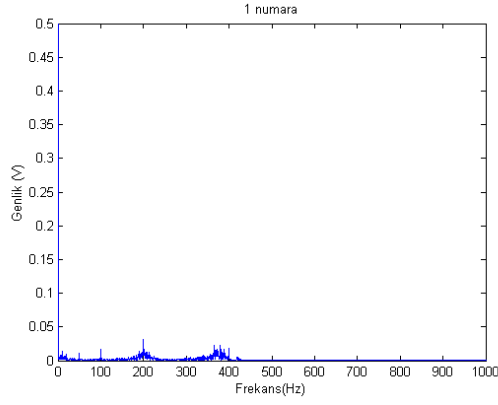


e) $p_{ort} = -0,24 \text{ V} = -0,48 \text{ cmSS} = -4,1 \text{ mHava}$

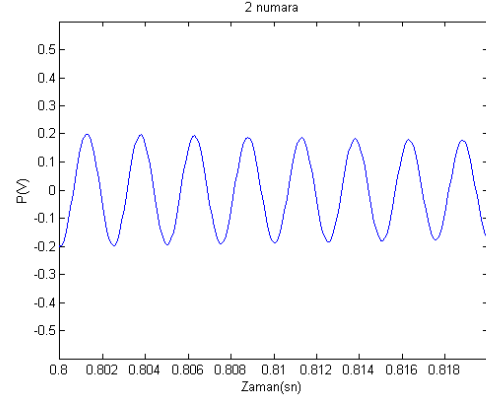
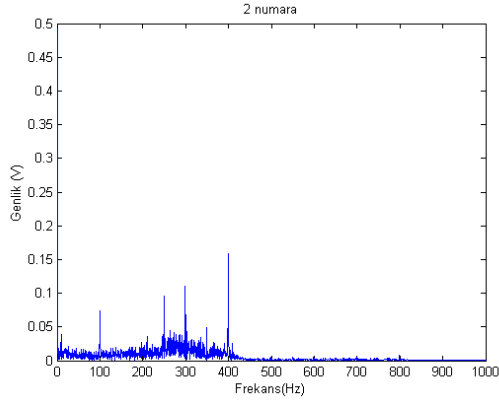
Şekil 4.19: Engelsiz durumda maksimum debi için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Engelsiz durumda maksimum debiyle ($Q=1.57 \cdot Q_N$) yapılan ölçümde, basınç çalkantılarının ortalama değerinde çark çıkışına yaklaşıncaya kadar (4 numara) bir azalma söz konusudur, sonra çıkışta tekrar artış gözlemlenmektedir (Şekil 4.19).

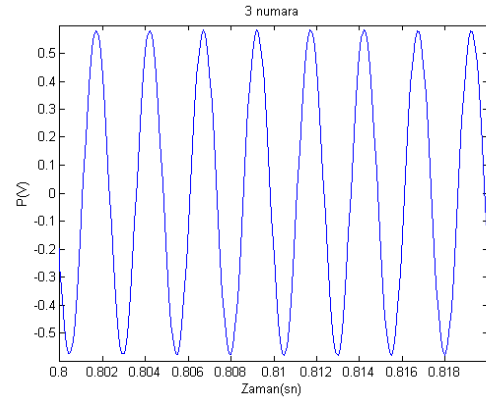
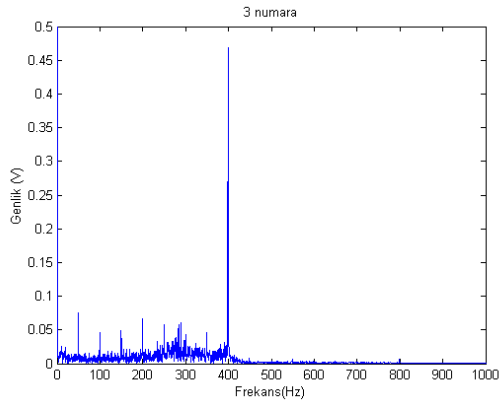
$Q=1,5*Q_N$ için engelli durumda zamana bağlı basınç ölçümleri



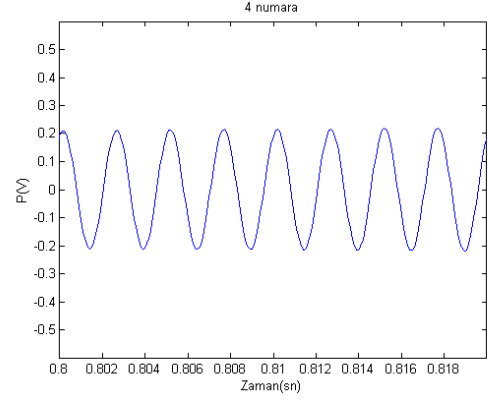
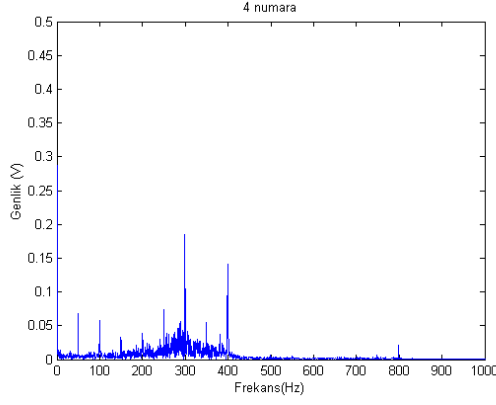
a) $p_{ort} = -0,345 \text{ V} = -0,69 \text{ cmSS} = -5,87 \text{ mHava}$



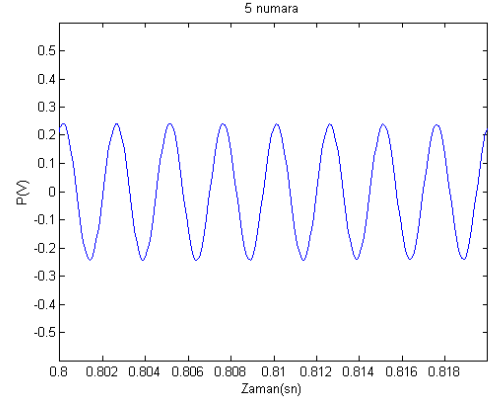
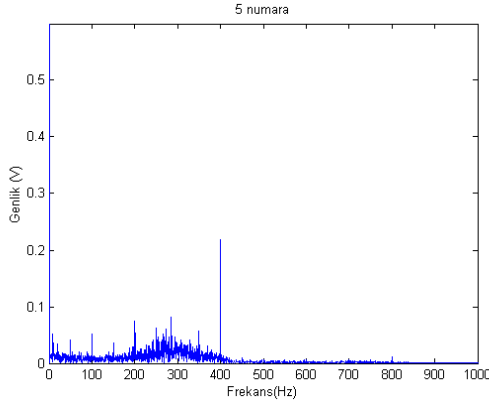
b) $p_{ort} = -0,24 \text{ V} = -0,48 \text{ cmSS} = -4,1 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = -1,1 \text{ V} = -2,2 \text{ cmSS} = -18,9 \text{ mHava}$



d) $p_{ort} = -0,14 \text{ V} = -0,28 \text{ cmSS} = -2,38 \text{ mHava}$



e) $p_{ort} = 0,93 \text{ V} = 1,86 \text{ cmSS} = 15,81 \text{ mHava}$

Şekil 4.20: Engelli durumda maksimum debi için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Maksimum debiyle yapılan ölçümde, engelli durumda da çark girişinden çıkışına doğru basınç çalkantılarının ortalama değerindeki artma çark ortasında azalmakta ve sonra çıkışa doğru değer tekrar artmaktadır (Şekil 4.20). Engelin çark çıkışında yaratmış olduğu rahatsızlığın etkisi çark ortasına yaklaşıldığında ortadan kalkmaktadır (Şekil 4.20).

4.2.3.2 Farklı Çevresel Konumda (12 nolu Statik Basınç Prizi) Alınan Ölçüm Sonuçları

Ölçüm sonuçlarının çark çevresinde değişim gösterip göstermediğini anlamak için farklı çevresel konumda da zamana bağlı ölçümler alınmıştır. Engel çark çevresine uzaklığı aynı olacak şekilde, çark dönüş yönünde yaklaşık 90° farklı bir çevresel konuma yerleştirilmiştir. Engel, Şekil 3.7’de 1 ve 11 numara ile gösterilen statik basınç prizleri boyunca yerleştirilerek 12 numaralı statik basınç prizinden ölçümler alınmıştır. Tüm ölçümler ilk konumda yapıldığı şekilde tekrar edilmiştir. Tablo 4.3 ve Tablo 4.4 engelsiz durumda ilk ölçüm konumundan ve farklı ölçüm konumundan alınan basınç değerlerinin ortalamasının değişimini göstermektedir.

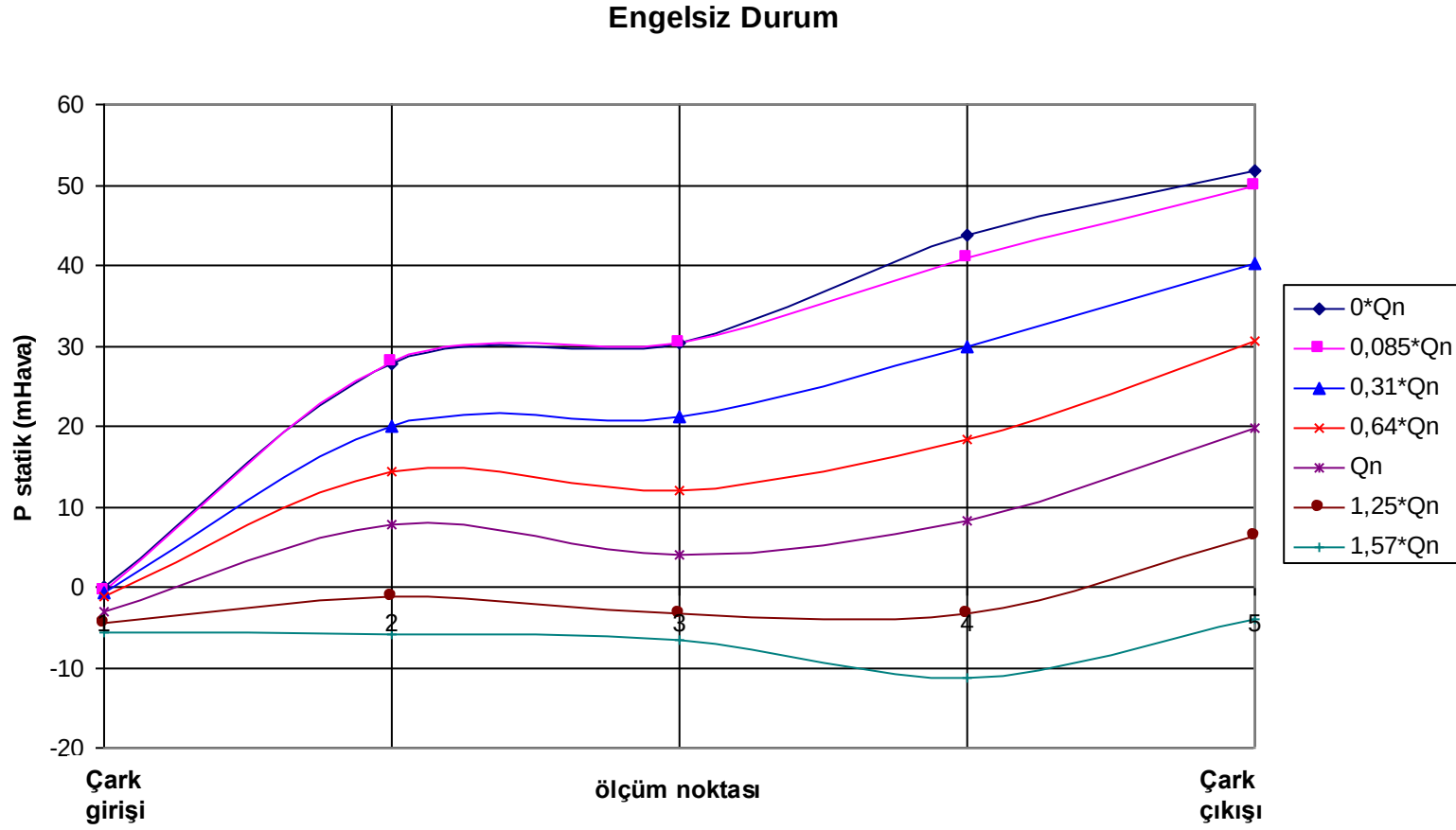
Tablo 4.3: Engelsiz halde alınan basınçların mHava olarak ortalama değerleri

	Debi değerleri						
Ölçüm Noktası	0*Qn	0,085*Qn	0,31*Qn	0,64*Qn	Qn	1,25*Qn	1,57*Qn
1	-0,085	-0,425	-0,6	-1,275	-3,06	-4,5	-5,7
2	27,7	27,9	20,06	14,4	7,65	-1,2	-5,8
3	30,4	30,3	21,2	12,1	4,08	-3,4	-6,6
4	43,7	41	29,9	18,3	8,2	-3,2	-11,4
5	51,7	49,8	40,3	30,6	19,7	6,46	-4,1

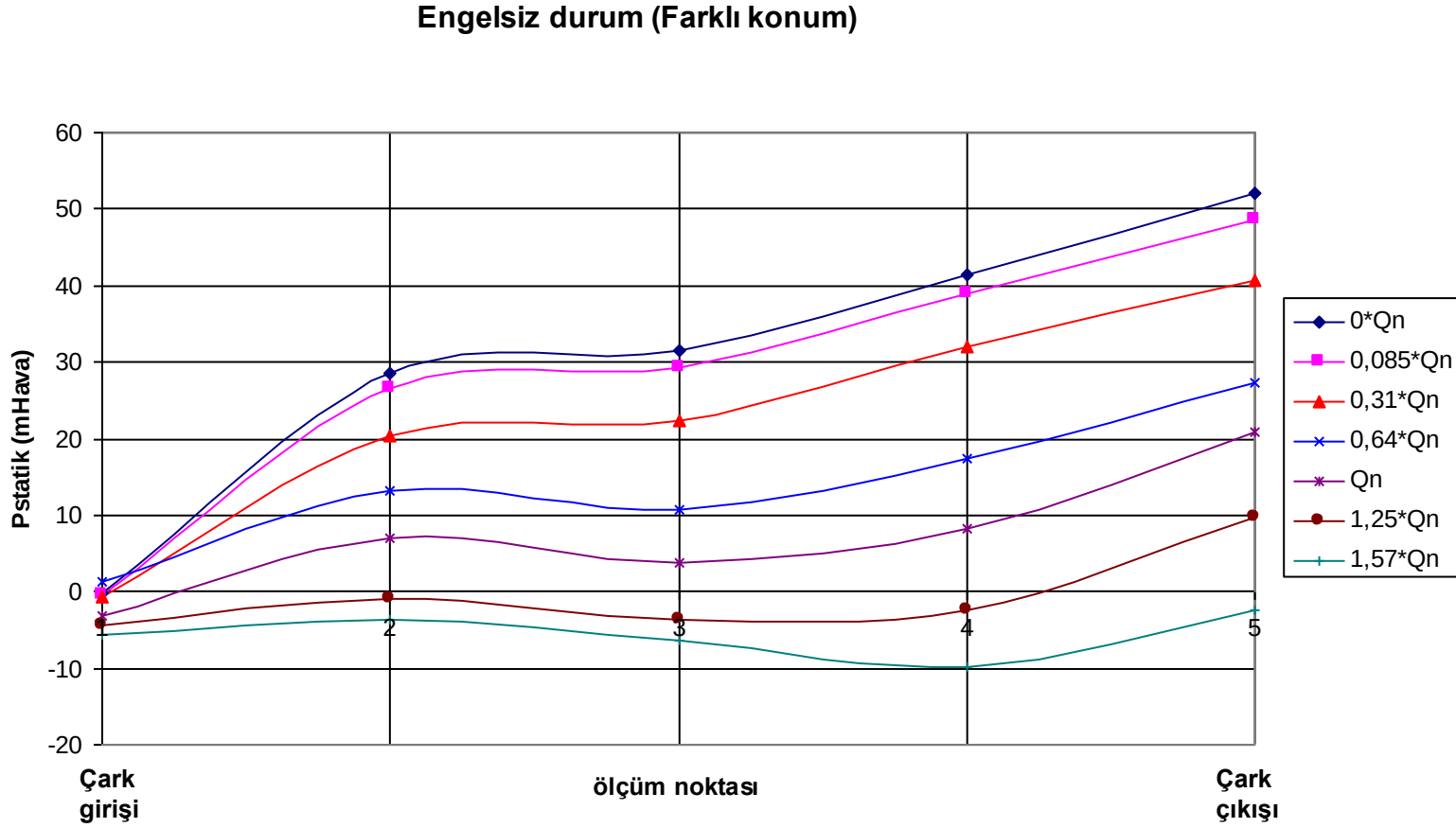
Tablo 4.4: Engelsiz halde alınan basınçların mHava olarak ortalama değerleri (Farklı çevresel konumdan)

	Debi değerleri						
Ölçüm Noktası	0*Qn	0,085*Qn	0,31*Qn	0,64*Qn	Qn	1,25*Qn	1,57*Qn
1	-0,085	-0,425	-0,6	1,275	-3,06	-4,5	-5,7
2	28,6	26,5	20,4	13,1	6,97	-0,85	-3,74
3	31,6	29,2	22,3	10,7	3,9	-3,57	-6,29
4	41,5	38,9	32,1	17,5	8,33	-2,35	-9,86
5	52	48,6	40,8	27,2	20,9	9,7	-2,38

Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’deki değerlerden de görülebileceği gibi engelsiz durumda 2 konumda da alınan ölçümler birbiriyle uyumlu çıkmıştır. Ortalama basınç değerlerinde çok küçük değişimler söz konusudur. Engelin olmadığı durumda çark boyunca ortalama basınç değişimi Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de görülebilir.



Şekil 4.21: İlk konumda engelsiz durumda çark-giriş çıkışı arası basınç değişimi



Şekil 4.22: Farklı çevresel konumda engelsiz durumda çark giriş çıkış arasındaki basınç dağılımı

Engelli durumdaki değerler de 2 ölçüm konumu için Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da verilmiştir. Bu değerlerin grafiksel olarak gösterimi de Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de verilmiştir.

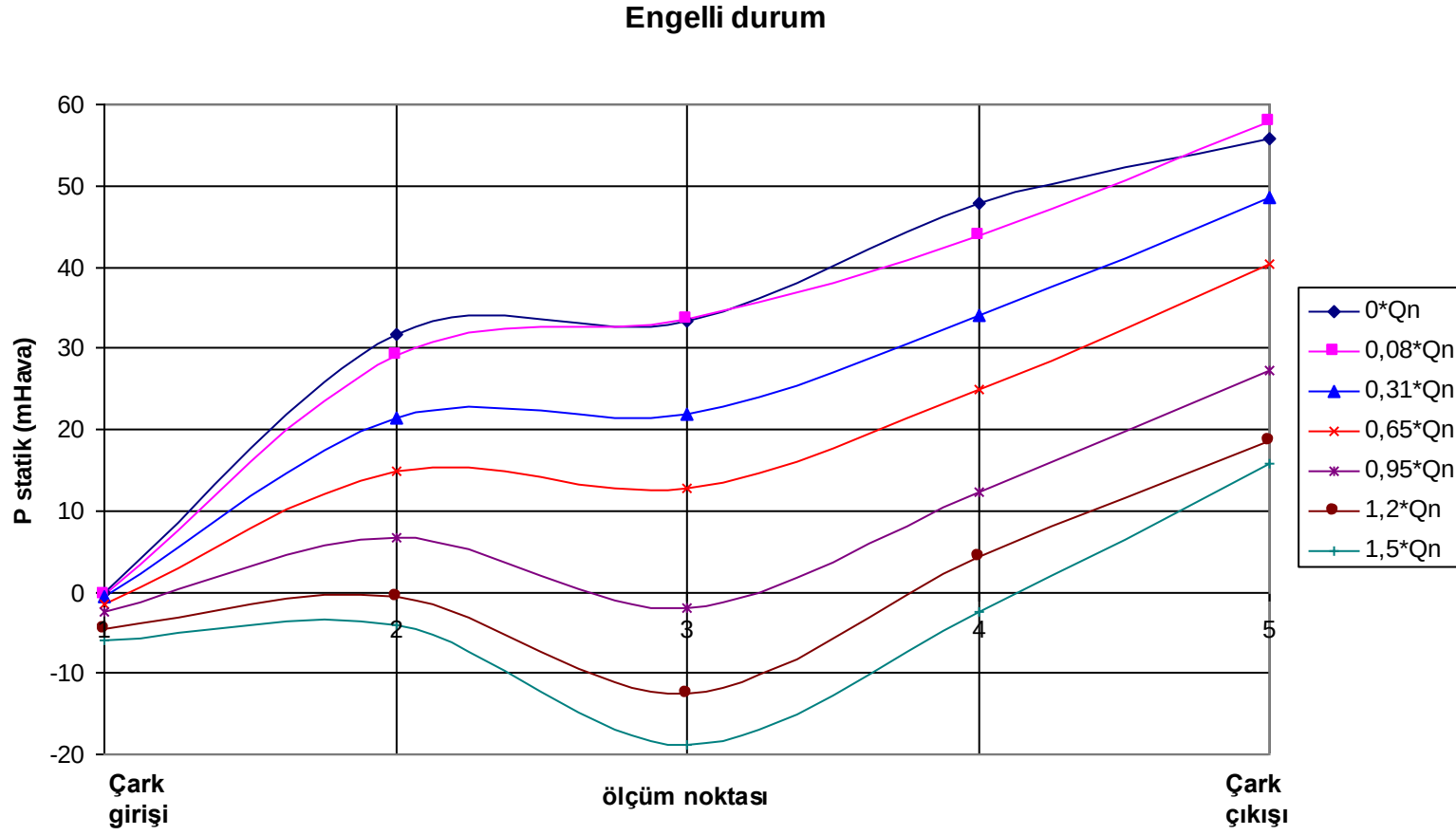
Tablo 4.5: Engelli halde alınan basınçların mHava olarak ortalama değerleri

	Debi değerleri						
Ölçüm Noktası	0*Qn	0,08*Qn	0,31*Qn	0,65*Qn	0,95*Qn	1,2*Qn	1,5*Qn
1	-0,17	-0,425	-0,61	-1,53	-2,55	-4,67	-5,87
2	31,8	29,07	21,4	14,96	6,75	-0,68	-4,08
3	33,3	33,5	21,8	12,75	-2,04	-12,6	-18,9
4	47,8	43,9	34	24,8	12,24	4,42	-2,38
5	55,8	57,8	48,6	40,46	27,2	18,53	15,81

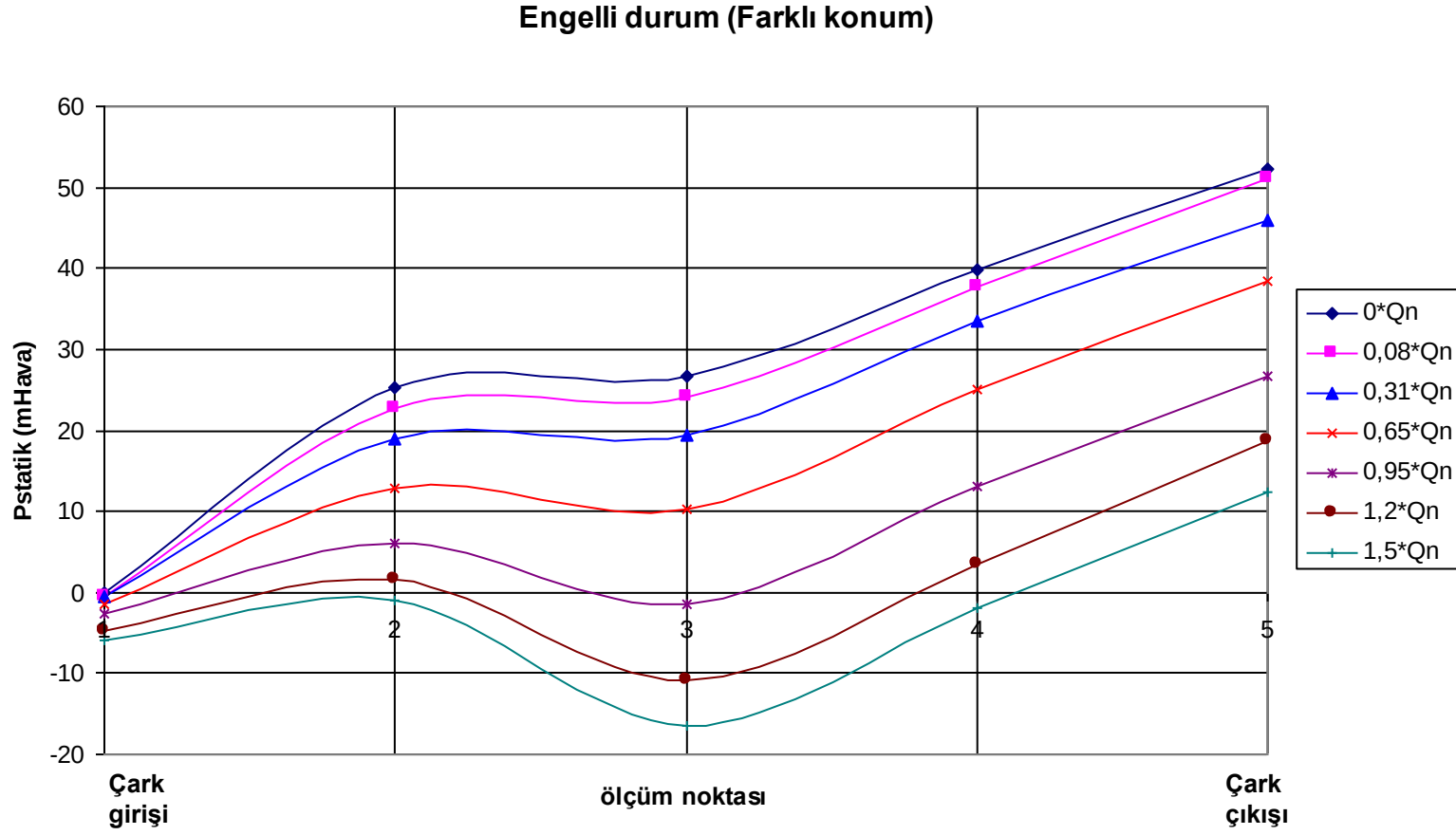
Tablo 4.6: Engelli halde alınan basınçların mHava olarak ortalama değerleri (Farklı çevresel konumdan)

	Debi değerleri						
Ölçüm Noktası	0*Qn	0,08*Qn	0,31*Qn	0,65*Qn	0,95*Qn	1,2*Qn	1,5*Qn
1	-0,17	-0,425	-0,61	-1,53	-2,55	-4,67	-5,87
2	25,33	22,8	19	12,75	6,12	1,7	-1,02
3	26,7	24	19,4	10,2	-1,53	-10,9	-16,5
4	39,8	37,6	33,5	25	13,1	3,57	-2,04
5	52,2	51	45,9	38,4	26,7	18,7	12,4

Engelli durumdaki değerleri karşılaştırdığımızda burada düşük debilerde 2 ve 3 numaralı noktalarda ölçüm değerlerindeki farkların biraz daha fazla olduğunu görüyoruz. Tasarım debisi ve yüksek debilerdeki değerler tüm noktalarda birbirine yakın çıkmıştır (Tablo 4.5 ve Tablo 4.6) . Basınç çalkantılarının spektrum analizi ile incelenmesinde de aynı durum söz konusudur. Tasarım debisinin % 30’u ve yukarıdaki debilerde ilk konumdaki yapının aynısı sonuçlara ulaşılmıştır. Engelin etkisi, kanat geçiş frekansındaki genliklerin yapısı bu farklı konumda da aynı karakterde bir yapı göstermiştir. Yalnız kapalı vana durumu ve tasarım debisinin % 8.5’i olan debi değerinde çalışma durumunda yeni ölçüm konumunda sonuçlar farklı çıkmıştır. İlk konumdan alınan ölçümlerde bu düşük debilerde engelin yaratmış olduğu rahatsızlığın çark boyunca ilerlediği görülmüştü. Yeni ölçüm konumunda ise engelin etkisi bu düşük debilerde çark içine kadar ilerlememektedir, çark çıkışıyla sınırlı kalmaktadır. Yeni ölçüm konumunda alınan basınç sinyallerinin spektrum ve



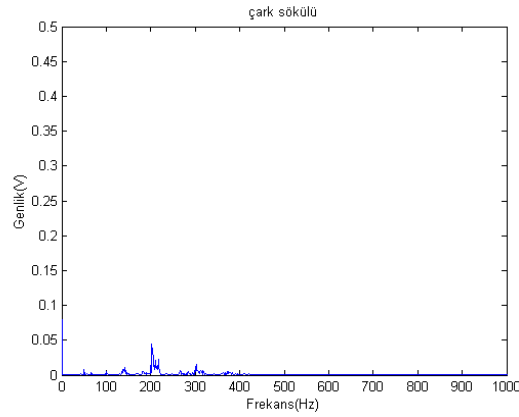
Şekil 4.23: İlk konumda engelli durumda çark giriş çıkış arasındaki basınç dağılımı



Şekil 4.24: Farklı çevresel konumda engelli durumda çark giriş çıkış arasındaki basınç dağılımı

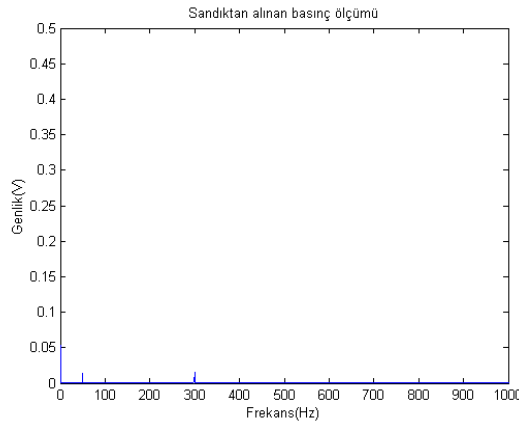
fitrelenmiş basınç-zaman grafikleri, sadece engelli halde kapalı vana konumu ve tasarım debisinin %8.5'i durumları için verilmiştir (Şekil 4.27 ve Şekil 4.28).

Alınan tüm sinyallerin spektrum analizine bakıldığında (engelli veya engelsiz) 200 ve 400 Hz arasında, özellikle 300 Hz civarında genliği çok büyük olmayan titreşimlere rastlanmaktadır. Buralarda ortaya çıkan tepelerin sistemin kendisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sandık, yatak, emme borusu, plexiglas yüzeyde meydana gelen titreşimler bu yapının oluşmasına neden olabilir. Çark sökölüp sistem yalnız mil dönecek şekilde çalıştırıldığında, alınan basınç sinyalinin spektrumu aşağıda Şekil 4.25’de verilmiştir.



Şekil 4.25: Çark sökölü halde alınan sinyalin spektrumu

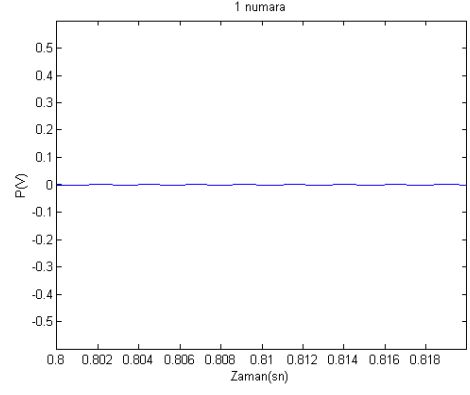
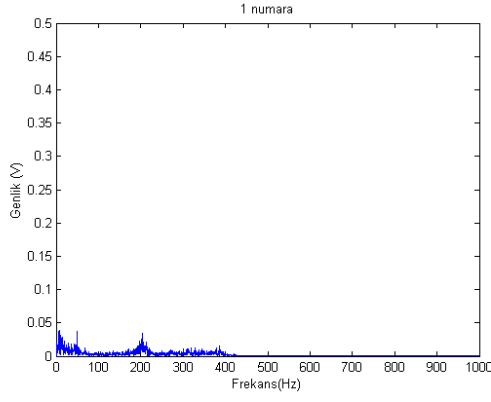
Bir de sandıktan aynı şekilde ölçüm alınmıştır. Bunun spektrumu da Şekil 4.26’da gösterilmiştir.



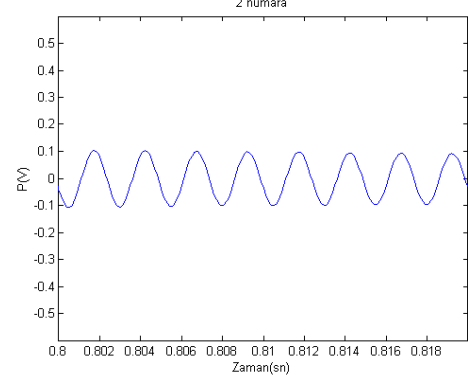
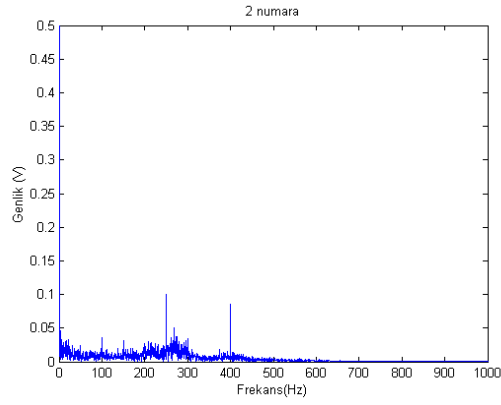
Şekil 4.26: Sandıktan alınan sinyalin spektrumu

Görüldüğü gibi 2 durumda da 200 Hz ve 300 Hz’de tepeler vardır.

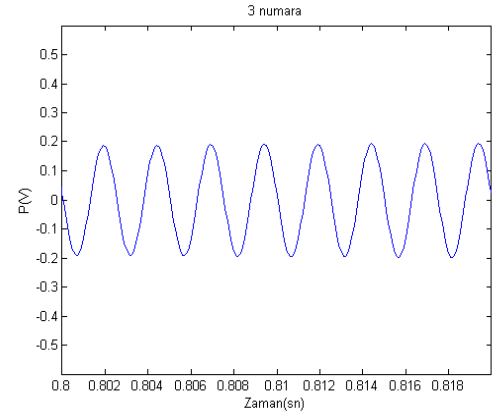
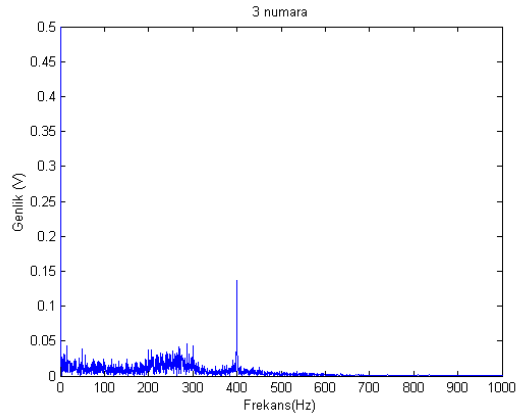
$Q=0*Q_N$ için engelli durumda zamana bağlı basınç ölçümleri (Farklı çevresel ölçüm konumundan)



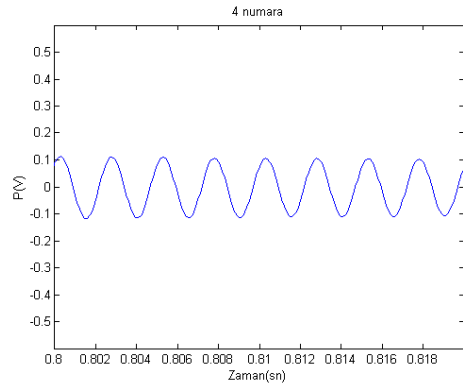
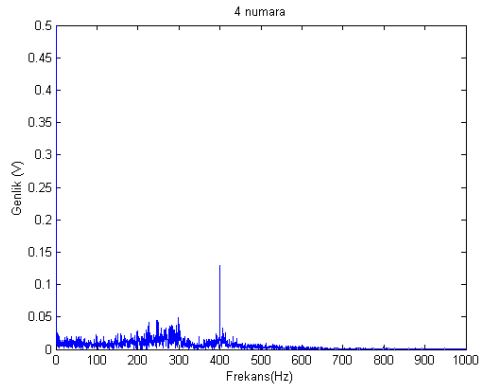
a) $p_{ort} = -0,01 \text{ V} = -0,02 \text{ cmSS} = -0,17 \text{ mHava}$



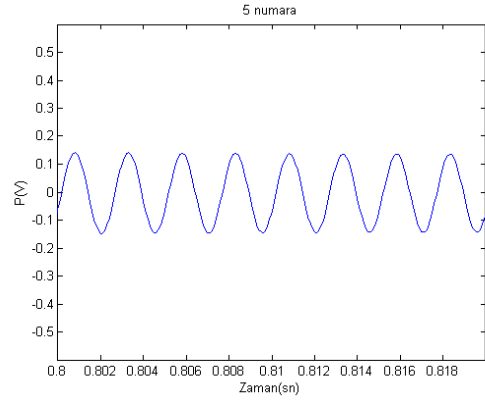
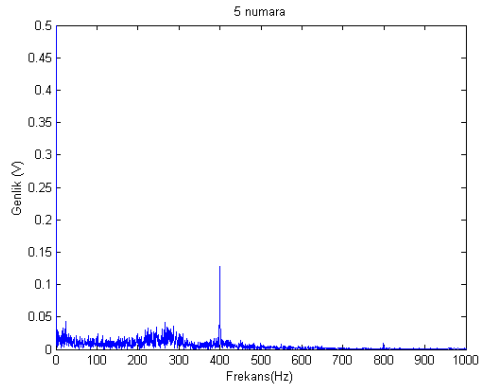
b) $p_{ort} = 1,49 \text{ V} = 2,98 \text{ cmSS} = 25,33 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = 1,57 \text{ V} = 3,14 \text{ cmSS} = 26,7 \text{ mHava}$



d) $p_{ort} = 2,34 \text{ V} = 4,68 \text{ cmSS} = 39,8 \text{ mHava}$

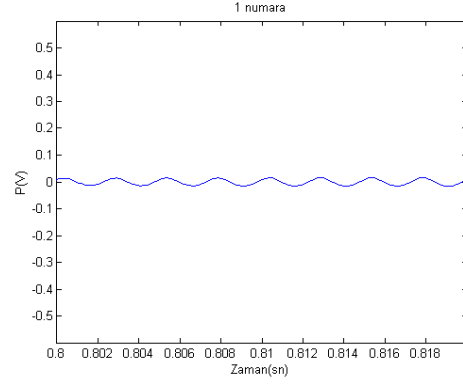
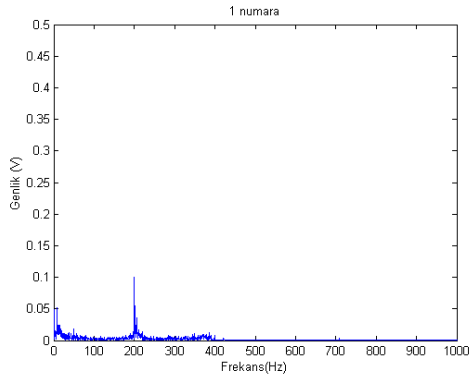


e) $p_{ort} = 3,07 \text{ V} = 6,14 \text{ cmSS} = 52,2 \text{ mHava}$

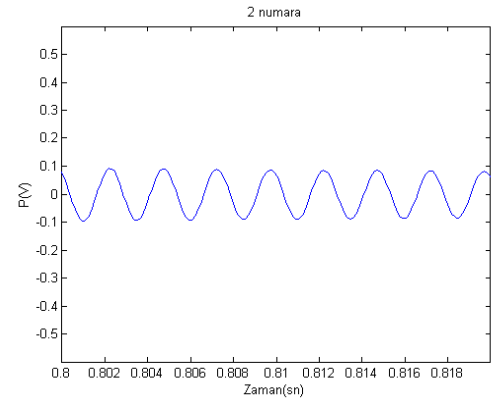
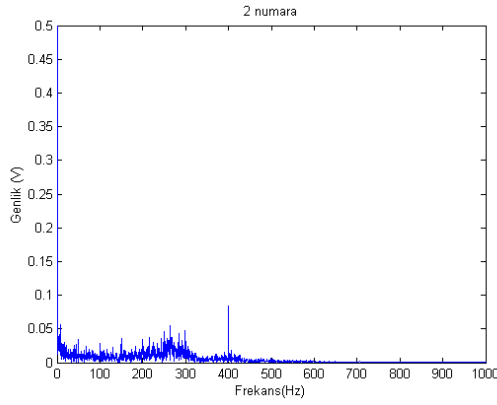
Şekil 4.27: Farklı çevresel konumda, engelli durumda, kapalı vana konumu için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Farklı çevresel konumda, kapalı vana konumu için engelli durumda alınan ölçüm sonuçlarının diğer ölçüm konumundan elde edilen sonuçlarla genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Kanat geçiş frekansındaki basınç çalkantılarının yapısı, emme borusundan alınan basınç çalkantılarının yapısı diğer ölçüm konumundan elde edilen sonuçlarla uyumludur (Şekil 4.27). Buradaki en önemli fark, engelin çark çıkışında yaratmış olduğu rahatsızlık çark içine kadar ilerlememektedir (Şekil 4.27).

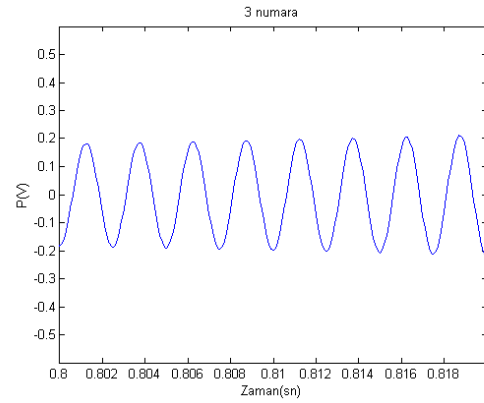
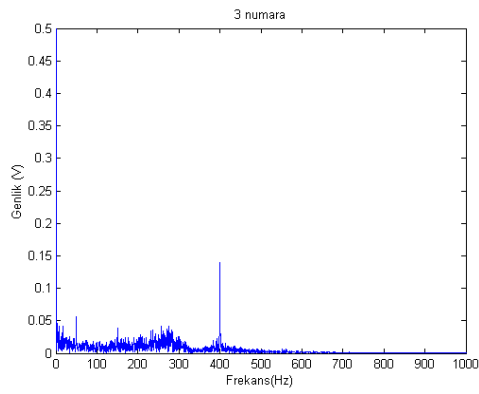
$Q=0,085 \cdot Q_N$ için engelli durumda zamana bağlı basınç ölçümleri (Farklı çevresel ölçüm konumundan)



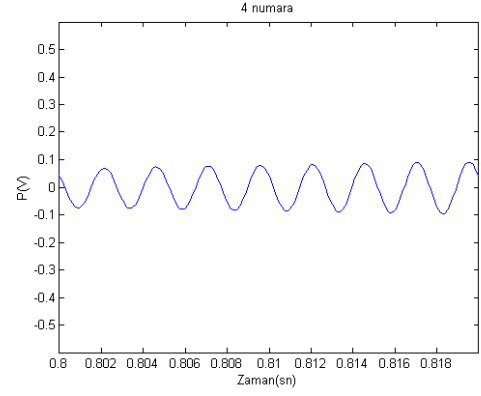
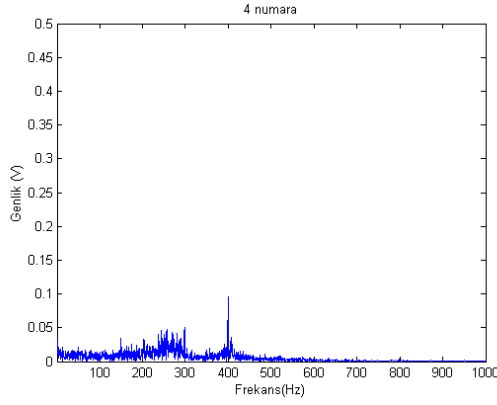
a) $p_{ort} = -0,025 \text{ V} = -0,05 \text{ cmSS} = -0,425 \text{ mHava}$



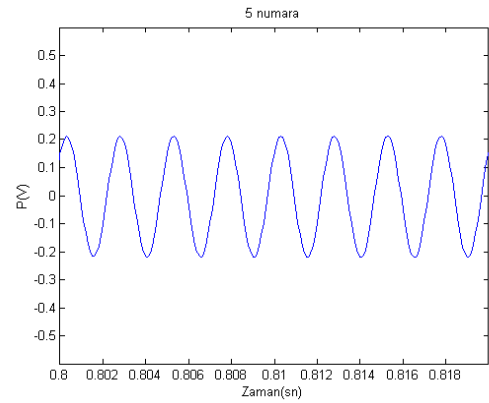
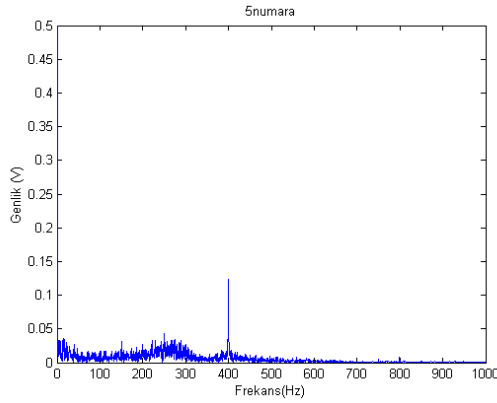
b) $p_{ort} = 1,34 \text{ V} = 2,68 \text{ cmSS} = 22,8 \text{ mHava}$



c) $p_{ort} = 1,41 \text{ V} = 2,82 \text{ cmSS} = 24 \text{ mHava}$



d) $p_{ort} = 2,21 \text{ V} = 4,42 \text{ cmSS} = 37,6 \text{ mHava}$



e) $p_{ort} = 3,00 \text{ V} = 6,0 \text{ cmSS} = 51$

mHava

Şekil 4.28: Farklı çevresel konumda, engelli durumda, tasarım debisinin %8.5'i için çark girişinden çıkışına doğru 5 noktada basınç sinyallerinin spektrumu ve kgf'deki filtrelenmiş basınç çalkantısının zamanla değişimi

Farklı çevresel konumda, tasarım debisinin %8.5'i için engelli durumda çark girişinden çıkışına doğru basınç çalkantılarının ortalama değerindeki artma kendini göstermektedir (Şekil 4.28). Engelin çark çıkışında yaratmış olduğu rahatsızlığın çark içine kadar ilerlemediği de görülmüştür. Yapılan spektrum analizine bakılırsa emme borusu dışındaki tüm noktalarda kgf'de maksimum tepe açıkça görülüyor (Şekil 4.28). Emme borusundan alınan ölçümlerde kgf görülmemektedir (Şekil 4.28). Engelli durumda basınç çalkantılarının genlikleri biraz daha büyümektedir. Kgf'deki basınç çalkantılarını incelersek 5 numarada yani çarkın çıkış kısmında genlik değeri daha fazla çıkmıştır (Şekil 4.28) .

5. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Çark etrafında engelli ve engelsiz durumdaki basma yüksekliğini karşılaştırdığımızda, engelli durumda beklenildiği şekilde basma yüksekliği değerinin daha fazla olduğu bulunmuştur. Engelsiz durumda çark etrafındaki statik basınç dağılımı akışın uniform olmasını engelleyecek herhangi bir etki olmadığı için gayet düzgün çıkmıştır. Çark çıkışındaki çevresel statik basınç dağılımının ortalama değeri düşük debilerde büyük, yüksek debilerde ise küçük çıkmıştır. Çark çıkışına engel koyarak bir rahatsızlık yarattığımızda, engelin yarattığı etki çark çevresindeki statik basınç dağılımına bakıldığında kendini hemen belli etmektedir. Engelin olduğu bölgede çark çıkışındaki basınç değerleri bir anda artış göstermiştir. Özellikle tasarım debisi ve daha üstündeki debilerde engelli bölgedeki basınç artışı çok daha büyük olmuştur. Düşük debilerde engelin etkisi çark çıkışında kendini fazla göstermemiştir.

Alınan zamana bağlı ölçümler sonucu, engelsiz durumda çark girişinden çıkışına doğru basınç değerlerinin düzgün biçimde artış gösterdiği görülmektedir. Sadece ölçümlerdeki maksimum debi değerinde çıkıştan önce bir miktar azalmakta fakat sonra tekrar artmaktadır. Engelli durumda ise tasarım debisinden düşük debilerde girişten çıkışa doğru basıncın arttığı ama tasarım debisi ve üzerindeki debilerde ise girişten çark ortasına kadar artmanın olduğu sonra bu bölgede basınçta düşmeyle karşılaşıldığı ve ardından tekrar artışın olduğu görülmüştür.

Engelli durumda basınç çalkantılarının genlikleri daha belirgin hale gelmiştir. Kanat geçiş frekansı ve mil devri frekansındaki genlikler spektrum analizlerinde hemen belli olmaktadır. Kanat geçiş frekansındaki genlikler karşılaştırıldığında çark ortasında maksimum genliğin görüldüğü de bulunmuştur. Emme borusu üzerinden alınan ölçümlerde kanat geçiş frekansı görülmemektedir. Çark çıkışına yerleştirilen engelin etkisinin çark ortasına kadar ilerlediği görülmüştür. Farklı çevresel konumdan ölçüm alınarak yapılan değerlendirmede düşük debilerde engelin yarattığı rahatsızlığın çark çıkışıyla sınırlı kaldığı çark içine ilerlemediği bulunmuştur. Diğer debi değerlerinde farklı çevresel konumdan alınan ölçümlerde de engelin etkisinin çark ortasına kadar ilerlediği görülmüştür.

Bu çalışmanın devamı olarak yapılacak çalışmalarda ölçümler için çok küçük basınçları dahi ölçebilecek mikrofon tipi ölçme cihazlarından yararlanılması daha iyi olacaktır. Ayrıca deney tesisatının rijid hale getirilmesi de ölçüm sonuçlarının daha düzgün çıkmasına yardımcı olacaktır. Alınan ölçümlerde 200-300 Hz frekanslarında görülen titreşimlerin sandık, yatak, pleksiglas ve emme borusundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Daha rijid bir yapıyla bu titreşimler engellenebilir.

Ayrıca engel çark etrafında daha geniş bir yüzeyi tarayacak şekilde büyütülerek bu çalışmanın devamında denenebilir. Bu sayede engel, salyangoza daha çok benzetilebilir. Yine engelin çarka olan uzaklığı da arttırılıp azaltılarak ölçümler tekrar edilirse spektrum analizinden basınç çalkantı genliklerinin yapıları daha detaylı olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

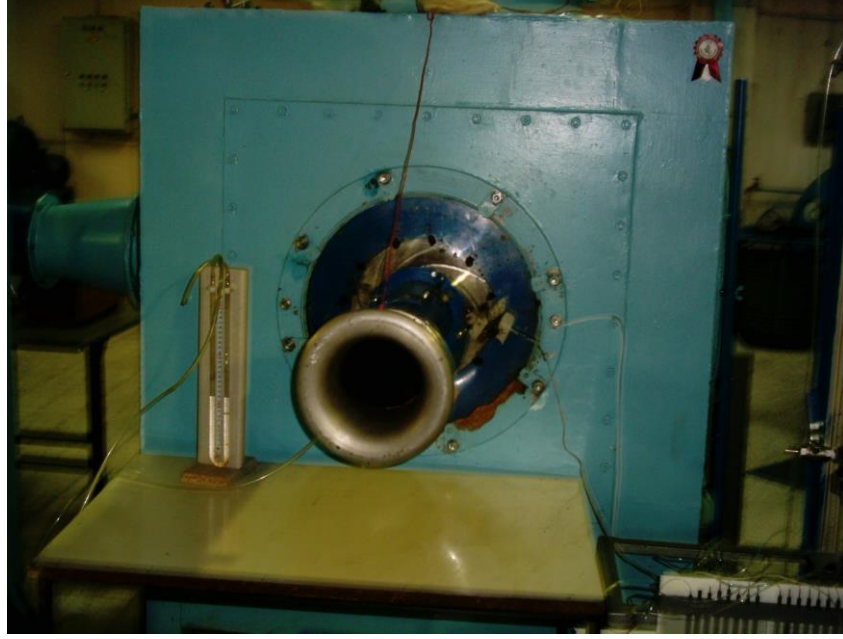
- Akhras, A., El Hajem, M., Morel, R. and Champagne, J.Y.**, 2001. Internal flow investigation of a centrifugal pump at the design point, *Journal of Visualization*, **4(1)**, 91-98.
- Aysheshim, W., Stoffel, B.**, 2000. Numerical and experimental investigations on a centrifugal pump stage with and without a vaned diffuser: Experimental Part, *20th IAHR-Symposium, Charlotte North Carolina, USA, CFDD-G01*
- BS-848, Part 1**, 1980. Determination of flow rate by orifice plate, *British Standards Institute*, pp 36-43
- Choi, J. S., McLaughlin, D. K., Thompson, D. E.**, 2003. Experiments on the flow field and noise generation in a centrifugal pump impeller, *J. of Sound and Vibration*, **263**, 493-514.
- Chu, S., Dong, R. and Katz, J.**, 1995b. Relationship between unsteady flow, pressure fluctuations, and noise in a centrifugal pump; part B: Effects of blade tongue interaction, *ASME Journal of Fluids Engineering*, **117**, 30-35.
- Dong, R., Chu, S. and Katz, J.**, 1997. Effect of modification to tongue and impeller geometry on unsteady flow, pressure fluctuations and noise in a centrifugal pump, *ASME Journal of Turbomachinery*, **119**, 506-515.
- El Hajem, M., Akhras, A., Morel, R. and Champagne, J. Y.**, 2001. Rotor-stator interaction in a centrifugal pump equipped with a vaned diffuser, *Proceedings of 4th European Conference on Turbomachinery*, Firenze, Italy, March 20-23, 557-567.
- Genceli, O.F.**, 2000. Ölçme Tekniği (Boyut, Basınç, Akış ve Sıcaklık Ölçmeleri), Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Gonzales, J., Fernandez, J., Blanco, E., Santolaria, C.**, 2002. Numerical Simulation of the dynamic effects due to impeller-volute interaction in a centrifugal pump. *J. Of Fluids Engineering*, **124**, 348-355.
- Holman, J. P.**, 1994. Experimental Methods For Engineers, McGraw-Hill Book Co., New York.
- Hong S.S., Kang S.H.**, 2001. Effect of circumferential outlet distortion on the flow characteristics at the impeller exit of a centrifugal pump. *Proceedings of Instn Mechanical Engineers*, **215**, Part C, 1083-1093.

- Jeon, W, H.,** 2003. A numerical study on the effects of design parameters on the performance and noise of a centrifugal fan, *J. Of sound and vibration*, **265**, 221-230.
- Kaupert, K. A., Staubli, T.,** 1999a. The unsteady pressure field in high specific speed centrifugal pump impeller-Part I: Influence of the volute, *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, **121**, 621-626.
- Meschkat,S. and Stoffel,B.,** 2002. The local impeller head at different circumferential positions in a volute casing centrifugal pump in comparison to the characteristic curve of the impeller alone, *Proceedings of the XXIth IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems*, 9-12 Eylül, Lausanne
- Parrondo, J. L., Gonzales, J., Francos, J.,Arango,L.,** 2000. An experimental study on the unsteady pressure distribution around the impeller outlet of a centrifugal pump, *J. Of Fluids Engineering, Proceedings of ASME FEDSM00-11302*,11-15 Haziran, Boston,Massachusetts
- Parrondo, J. L., Gonzales, J., Francos, J., Santoloria, C.,** 1996. Measurements in the dynamic pressure field of the volute of a centrifugal pump1. *Proc. XVIII IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Cavitation, Valencia,Spain*,401-410.
- Parrondo, J. L., Gonzales, J., Fernandez, O.,Perez, J.,** 2002. A simple acoustic model to simulate the blade passing frequency sound pressure generated in the volute of centrifugal pumps. *Forum Acusticum Sevilla (3rd European Cong. on Acoustics)*, paper ENV-gen-001.
- Parrondo, J. L., Gonzales, J., Fernandez, O.,Perez, J.,** 2003. Characterization of blade passing frequency sound sources in a centrifugal pump from pressure flustuation measurements. *Proc.of Tenth International Congress on Sound and Vibration*, Stockholm,Sweden, 7-10 Temmuz,1849-1856.
- Suarez,S., Fuertes.P., Tajadura,R., Morros,C.,** 2000. Pressure fluctuations and generation of tonal noise in a centrifugal pump, *Unsteady aerodynamics aeroacoustics and aeroelasticity of turbomachines*, 160-169.
- Şanlıtürk, K.Y.,** 2003. Data acquisition & signal processing, *Ders Notu*, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul.
- Tamm,A., Ludwig,G., Stoffel,B.,** 2001. Numerical,experimental and theoretical analysis of the individual efficiencies of a centrifugal pump, 2001 *ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting*, New Orleans,Lousiana,USA, 29 Mayıs-1 Haziran

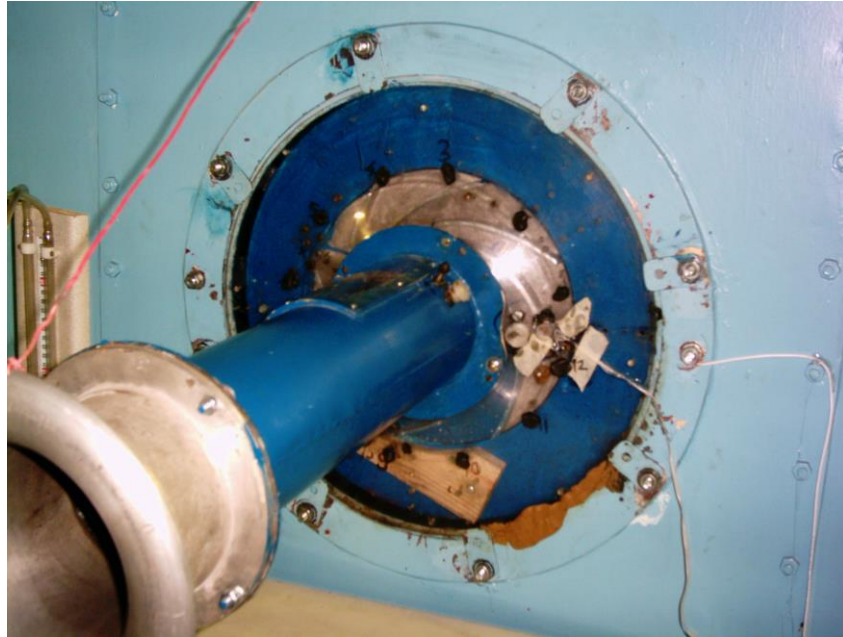
- Timouchev, S., deBotton, G., Reznik, A.,** 2003. Experimental and computational study of pressure pulsation in a centrifugal pump, *Proceedings of Tenth International Congress on Sound and Vibration*, Stockholm, Sweden, 7-10 Temmuz, 1897-1904.
- Timouchev, S., Tourret, J.,** 2001. Prediction of BPF pressure pulsation field in centrifugal pumps and ventilators, *Proceedings of 4th Conference on European Turbomachinery*, Firenze, Italy, Mart 2001, 629-638.
- Toklu, E., Yiğit, S., Kılıçaslan, İ., Çallı, İ.,** 1996. Açık kanatlı pompa tasarımında optimum karakteristiklerin seçimi, 2. *Pompa Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, s. 153-159.
- Yaman, K.,** 2005. Radyal pompa çıkışındaki basınç çalkantılarının spektral yapısı, *Yüksek Lisans Tez Çalışması*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EK A

DENEY TESİSATI RESİMLERİ



Şekil A.1: Emme borusu



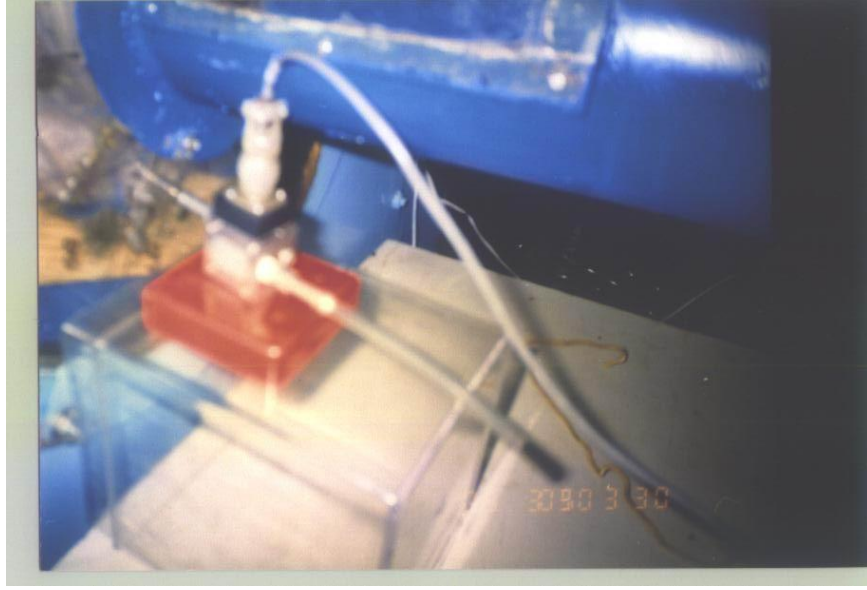
Şekil A.2: Emme borusu ve plexiglas üzerinde açılan statik basınç prizlerinin yerleri



Şekil A.3: Açık radyal çark ve engelin çark etrafındaki konumu



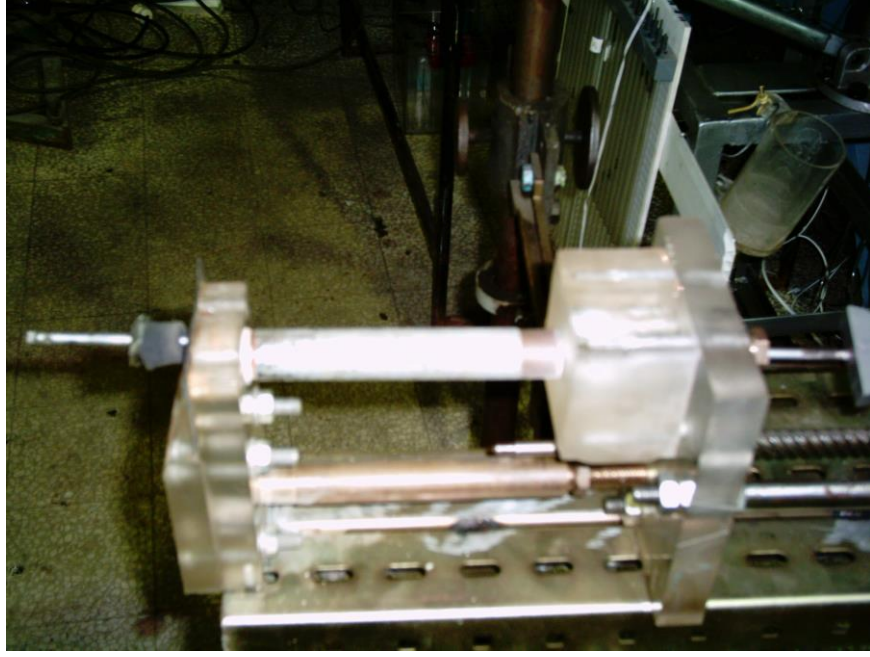
Şekil A.4: Basma borusu ve orifis bağlantısı



Şekil A.5: Validyne marka transdüser ile ölçüm alınması



Şekil A.6: Piezoelektrik transdüser ve besleyici



Şekil A.7: Üç delikli basınç probu ve sabitleme aparatı

EK B

Veri Toplama Sisteminde Kullanılan Elemanların Özellikleri

a) Piezoelektrik Transdüser : PCB-106B50

Performansla ilgili özellikler :

Tip	: piezo-elektrik
Ölçme aralığı ($\pm 2.5V$ çıkış aralığında)	: 0-35 kPa
Hassasiyet	: 72.5 mV/kPa
Maksimum basınç (statik)	: 3448 kPa
Çözünürlük	: 86 kPa
Rezonans frekansı	: ≥ 40 kHz
Zaman sabiti	: $\leq 12 \mu$ sec
Düşük frekans cevabı (-%5)	: 0,5 Hz

Çevresel etkilere açıklık :

İvmeye karşı hassaslığı	: $<0,0014 \text{ kPa}/(\text{m/s}^2)$
Çalışma sıcaklığı aralığı	: $-54^{\circ} \text{C} - 121^{\circ} \text{C}$
Sıcaklık hassaslık katsayısı	: $<0,054\%/^{\circ}\text{C}$
Dayanabileceği maksimum anlık sıcaklık	: 1649°C
Maksimum titreşim	: $4903 \text{ m/s}^2 \text{ pk}$
Maksimum şok	: $9807 \text{ m/s}^2 \text{ pk}$

Elektriksel özellikler :

Çıkış gerilimi	: pozitif
Boşalma zaman sabiti	: $\geq 1 \text{ sec}$
Uyarma gerilimi	: 11-30 VDC
Sabit akım uyarımı	: 2-20 mA
Çıkış empedansı	: $\leq 100 \text{ ohm}$
Çıkış Bias (kayma) gerilimi	: 3-8 VDC

Fiziksel özellikler :

Algılama elemanı	: Kuvars kristal
Gövde malzemesi	: 17-4 paslanmaz çelik
Diyafram	: 316L paslanmaz çelik
Sızdırmazlık	: Kaynaklı, hava geçirmez
Elektrik bağlantısı	: 10-32 koaksiyel konektör
Ağırlık	: 32 g

b) Besleyici

Marka	: PCB
Model	: Signal Conditioner 482 A 16

c) Kablolama terminali

Marka	: ADVANTECH
Model	: PCLD 8115

ADVANTECH marka veri toplama kartlarına DB37 kablosuyla bağlanabilir. Kart üzerinde çeşitli sinyal koşullandırma devreleri kurulabilir.

d) Veri toplama kartı

Marka	: ADVANTECH
Model	: PCL 1800

Analog giriş özellikleri:

Kanal sayısı	: 16 tek uçlu, 8 diferansiyel (bipolar)
Çözünürlük	: 12 bit
Çevirme zamanı	: 3 μ sec

Seçilebilen giriş sinyal aralıkları:

Bipolar	: $\pm 10V; \pm 5V; \pm 2,5V; \pm 1,25V; \pm 0,625V$
Unipolar	: $0 \sim 10V; 0 \sim 5V; 0 \sim 2,5V; 0 \sim 1,25V$
Kanal tarama	: otomatik
Veri aktarım yöntemi	: program kontrollü kesme isteği (IRQ)
2, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 15); 16 bit doğrudan bellek erişimi yöntemi (Direct Memory Access)	
FIFO boyutu	: 1K
Veri aktarım hızı	: DMA modunda 200 kHz'e kadar;
FIFO ile 330 kHz'e kadar	
Doğruluk	: $\pm 0,01 \text{ FSR} \pm 1 \text{ LSB}$

Genel özellikler

G/Ç yuvası	: 32 ardışık byte
PC bağlantı yuvası	: 16 bit ISA
Boyutlar	: 122 mm x 218 mm
Güç harcaması	: 600 mA değerinde maks. +5 V; 200 mA değerinde maks. +12 V; 15 mA değerinde -12 V tipik değerdir.

e) Transdüser : Validyne DP15

Basınç aralıkları	: 0,05 kPa - 22000 kPa
Algılama elemanı	: Paslanmaz manyetik diyafram
Çıkış	: 35mV/V
Elektrik bağlantısı	: PT02A-10-6P, Bendix veya eşdeğeri
Ağırlık	: 0,34 kg
Basınç Bağlantısı	: 1/8-27NPTF
Belirsizlik	: $\pm 0,25$

f) Carrier Demodulator CD15

Giriş Duyarlılığı
Transdüser Uyarımı

: 15mV/V minimum giriş 10 Vdc için
: 5V rms, 5kHz sinüs dalgası

Çıkış Değerleri

Voltaj
Çıkış Empedansı
Frekans Cevabı
Ağırlık

: -10Vdc
: 10 ohms
: DC 1000Hz düz
: 1,58 kg

EK C

Veri Değerlendirmede Kullanılan Quick Basic Programı

```
'
*****
**
' * Program   : ADTRIG.BAS                      *
' * Description : Demo program for PCL-1800 pacer trigger A/D      *
' *              conversion with software data transfer.          *
' * Revision   : 2.00                                           *
' * Date      : 5/20/1994          Advantech Co., Ltd.          *
'
*****
**
'
CONST BUFSIZE = 20000
DECLARE SUB ErrorMessage (wParameter()) AS INTEGER

DIM wParam(65) AS INTEGER      ' If two boards installed, need to declare
                                ' the second parameter array.
DIM wdata(BUFSIZE) AS INTEGER

DIM y AS STRING * 1
DIM i AS INTEGER
DIM fdata AS DOUBLE

wParam(0) = 0      ' Board number
wParam(1) = &H300  ' Base I/O address
wParam(4) = 2      ' IRQ level : IRQ2
wParam(5) = 100    ' Pacer rate = 10M/(10*100)=10 KHz
wParam(6) = 10
wParam(7) = 0      ' Trigger mode, 0 : pacer trigger
wParam(8) = 0      ' Non-cyclic
wParam(10) = VARPTR(wdata(0)) ' Offset of A/D data buffer A
wParam(11) = VARSEG(wdata(0)) ' Segment of A/D data buffer A
wParam(12) = 0      ' Data buffer B address, if not used,
wParam(13) = 0      ' must set to 0.
wParam(14) = BUFSIZE ' conversion number
wParam(15) = 0      ' A/D conversion start channel
wParam(16) = 0      ' A/D conversion stop channel
wParam(17) = 0      ' Overall gain code, '-1' for gain array

wParam(56) = 10     ' Frequency base 1MHz or 10MHz
wParam(57) = 0      ' A/D conversion number for pre-trig
wParam(58) = 0      ' A/D maximum number before watchdog active
wParam(59) = 0      ' A/D overall condition for comparator
                                ' 0 : Normal mode
```

```

' wParam(45) : Error Code
' wParam(46) : Return Value 0
' wParam(47) : Return Value 1

PRINT : PRINT : PRINT
PRINT "This demo program needs PCL-1800 switch setting as following:"
PRINT "    1. Base I/O address (HEX) : "; HEX$(wParam(1))
PRINT
y = "y"

REM  INPUT ; " Are the setting correct ? (Y/N): ", y

IF y <> "Y" AND y <> "y" THEN
    PRINT : PRINT
    PRINT "Set the PCL-1800 card to correct configuration before"
    PRINT "running this program."
    STOP
END IF
CLS

' Func 3 : Hardware initialization
CALL pcl1800(3, SEG wParam(0))
IF (wParam(45) <> 0) THEN CALL ErrorMessage(wParam())

' Func 4 : A/D initialization
CALL pcl1800(4, SEG wParam(0))
IF (wParam(45) <> 0) THEN CALL ErrorMessage(wParam())

'Func 5 : A/D software data transfer
CALL pcl1800(5, SEG wParam(0))
IF (wParam(45) <> 0) THEN CALL ErrorMessage(wParam())
OPEN "result.dat" FOR OUTPUT AS #1
'Display data
FOR i = 0 TO wParam(14) - 1
REM    PRINT i, wdata(i)

    'Because of the data format, shift right 4 bits to get
    'real value. The data in low nybble is A/D channel
    'number from which this data converted.

    fdata = (5! - (-5!)) * ((wdata(i) / 16) AND &HFFF) / 4096! - 5!

    '(5 - (-5)) : A/D input range (-5V to 5V)
    '4096      : Full scale 12 bit A/D data
    'DataBuf   : A/D input data
    '(-5)     : A/D input range "-5" V
    PRINT USING "data[###]= ##.###V on channel #"; i; fdata; wdata(i) AND
&HF
    WRITE #1, i, wdata(i) AND &HF, fdata
NEXT i

```

```

    CLOSE #1
END
'-----
SUB ErrorMessage (wParam() AS INTEGER)
    DIM cChar, iIndex AS INTEGER
    DIM szError AS STRING * 80

    CALL pcl1800(0, SEG wParam(0))
    iIndex = 0

    DO
        DEF SEG = wParam%(47)
        cChar = PEEK(wParam%(46) + iIndex)
        DEF SEG
        POKE VARPTR(szError) + iIndex, cChar
        iIndex = iIndex + 1
    LOOP UNTIL cChar = 0

    PRINT USING "Error Message : &"; szError
    STOP
END SUB

```

EK D

Hata Analizi

Açık bir radyal pompa çarkındaki daimi olmayan akışın incelendiği bu deneysel çalışmada, statik basınç ölçümleri ve zamana bağlı basınç ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Zamana bağlı basınç ölçümlerini gerçekleştirmek için kurulan deney düzeneğini oluşturan elemanlar, 3. bölümde Şekil 3.10'da gösterilmektedir. Buna göre basınç sinyalleri transdüser uzunluğu kısa tutulan bir boru tarafından iletilmekte ve transdüserde bu sinyaller elektrik sinyallerine çevrilmektedir. Daha sonra da bu analog sinyaller veri aktarım sistemi sayesinde sayısal sinyallere dönüştürülerek bilgisayara yollanmaktadır. Bilgisayarda da bu sinyaller gerekli programlar kullanılarak işlenip, spektrum analizi ile değerlendirilmektedir.

Deneysel bulguların hata analizi için belirsizlik analizi adı verilen bir yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde ölçülmesi gereken büyüklük R , ve bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler ise $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olsun. Bu durumda $R=R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ yazılabilir. Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ve R büyüklüğünün hata oranı w_R ise (D.1) eşitliği ile

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} w_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (D.1)$$

şeklinde verilmektedir (Holman 1994).

Yapılan deneylerde belirsizliğe sahip olan nokta ve elemanlar, transdüser, veri aktarım kartının çözünürlüğü, veri aktarım sistemindeki belirsizlik ve veri işlemedeki belirsizliktir. Hatalı ölçüme sebep olabilecek noktalar ise kablolama ve transdüserlerin bağlandığı basınç prizlerinin (borunun) akustik davranışlarıdır.

Kablolamadan kaynaklanabilecek bir hata, veri toplama kartının kataloğunda verilen şemaya uygun kablolama yapılarak engellenmiştir. Basınç ölçümlerinde basıncın ölçüldüğü yer ile basıncın algılandığı elemanın irtibatı, içinde akışkan bulunan boru ile sağlanır. Basıncı algılayan borunun doğal frekansının ölçülmek istenen maksimum basıncın frekansından çok daha büyük olması gerekir. Deneylerde ölçülen maksimum frekans değeri 400 Hz'dir.

Transdüser basıncı ileten borunun doğal frekansı (D.2);

$$w_n = \sqrt{\frac{3\pi r^2 c^2}{4LV}} \quad (D.2)$$

eşitliği ile bulunmaktadır (Genceli 2000). Burada r iletim borusunun yarıçapı, L iletim borusunun uzunluğu, c akışkandaki ses hızı ve V de basıncın algılandığı bölümdeki hacim değeridir. Transdüserin bağlandığı borunun çapı 2,5mm, uzunluğu 20mm, basınç algılayıcı önündeki hava hacmi 65mm³'tür, ayrıca 20 C^o sıcaklıktaki ses hızı da 343 m/s'dir. Bu değerler (D.2) eşitliğinde yerlerine konduğunda, doğal

frekans $\omega_n = 18253$ Hz olmaktadır; yani ölçme aralığının çok üzerindedir. Dolayısıyla bu kısa uçlu boru ile akıştan transdüser aktarılan basınç sinyalleri üzerindeki statik kazancının %3'ü mertebesini geçmeyeceğini beklemek mantıklı olacaktır. Transdüserin belirsizliği ise % 0,25 olarak verilmektedir (Ek B). Veri toplama sistemindeki belirsizlik % 1 kabul edilmiştir. Veri toplama kartının çözünürlüğü ise 12 bittir. Kart giriş aralığı $\pm 5V$ olarak ayarlandığı için, çözünürlük $2 \times 5 / 2^{12}$ V olacaktır. Bu değer 2.4 mV'a eşittir. Transdüserin kalibrasyonu 3. bölümde anlatılmıştı. Şekil 3.9'da transdüserin kalibrasyon eğrisi gösterilmiştir. Kalibrasyonda 0 V=0 cmSS ve 5V=10 cmSS olacak şekilde ayarlama yapılmıştı. Bu durumda transdüser hassasiyetinin 5V/10cmSS olduğu düşünülürse, kartın çözünürlüğü 0,0048 cmSS olacaktır. Analog dijital çevrim yüzünden 0,0048 cmSS değerinde bir belirsizlik meydana gelmektedir.

Sırasıyla akışkandan alınan basınç sinyalinin veri işleme sisteminden geçerek görüntülenene kadar oluşan belirsizlik noktaları ;

Kısa uçlu borunun yarattığı belirsizlik : %3

Transdüserin yarattığı belirsizlik : %0,25

Veri toplama sisteminden kaynaklanan belirsizlik : %1

Veri toplama kartının çözünürlüğünün belirsizliği : 0,0048 cmSS

olarak sayılabilir.

Yapılan basınç ölçümlerindeki hata analizini yapmak için denklem (D.1)'den yararlanılırsa burada R değeri P ölçülmek istenen basınç olarak kabul edilebilir. Buna etki eden bağımsız değişkenler de yukarıda anlatılan belirsizlik kaynakları olarak alınabilir.

Veri toplama işlemi, aşağıdaki denklemle karakterize edilebilir.

$$P_o = \tilde{P} \cdot K_B \cdot K_T \cdot K_V \cdot K_K \quad (D.3)$$

Bu denklemde P_o : sayısal çevrilmiş basınç, $\tilde{P}$: akışkandan algılanan basınç, K_B : borunun basıncı yükseltme veya sönümleme etkisi katsayısı, K_T : transdüser belirsizliği katsayısı, K_V : veri toplama sistemindeki belirsizlik katsayısı ve K_K : veri toplama kartının çözünürlüğünden kaynaklanan belirsizlik katsayısı olarak tanımlanmıştır. Veri toplama kartı dışındaki elemanların belirsizlikleri yüzdeyle ifade edilebildiği için sıfır hatalı bir çevrimde $P_o = \tilde{P}$ olacağı göz önüne getirildiğinde K_B , K_T , K_V ve K_K 'yı 1'e eşit tutmak ve mutlak belirsizlikleri yüzde cinsinden ifade etmek doğru olacaktır (Yaman 2005).

Kanat geçiş frekansından alınan basınç sinyalleri içerisinde okunan ve önem taşıyan en küçük bileşenlerin 0,2 cmSS mertebelerinde olduğu görülmektedir. Dolayısıyla veri kartının çözünürlüğünden kaynaklanan belirsizlik 0,2 cmSS basınç için %2,4 değerinde olur.

Toplam belirsizlik ise:

$$w_T = \sqrt{(P_o \cdot w_B)^2 + (P_o \cdot w_T)^2 + (P_o \cdot w_V)^2 + (P_o \cdot w_K)^2}$$

$$= \sqrt{(0,2,0,03)^2 + (0,2,0,0025)^2 + (0,2,0,01)^2 + (0,2,0,024)^2} = 0,008 \text{ cmSS}$$

Dolayısıyla en büyük belirsizliğin değerlendirilen en küçük basınç mertebesi olan 0,2 cmSS değeri için gerçekleşeceği varsayılarak oluşacak belirsizlik $0,008/0,2=\underline{\%4}$ den küçük olacaktır. Kart çözünürlüğünün karta giren analog sinyalin büyüklüğüne bağlı olmamasından dolayı, 0,2 cmSS'den düşük basınçlarda belirsizlik artacak, yüksek basınçlarda ise azalacaktır. Sonuç olarak yaklaşık $\pm\%5$ belirsizlik oranıyla gerçekleştirilmiş olan deneylerin tatmin edici olduğu düşünülmektedir.

ÖZGEÇMİŞ

Mesru YALÇIN, 1980 yılında Kırcalı'de dünyaya geldi. İlk ve orta öğretimini Lüleburgaz'da tamamladı. 1998 yılında Lüleburgaz Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2002 yılında İ.T.Ü Makina Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı ve aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Isı-Akışkan Programı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2004 Şubat ayında özel bir firmada AR-GE mühendisi olarak çalışmaya başladı. Halen İ.T.Ü Makina Fakültesi Hidromekanik ve Hidrolik Makinalar Anabilim Dalı'nda deneysel olarak yüksek lisans çalışmasına devam etmektedir.