



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DALGIÇ POMPALARDA KRİTİK DALMA DERİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Nuri ORHAN

DOKTORA TEZİ
TARIM MAKİNELERİ VE TENOLOJİLERİ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞUBAT-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

DOKTORA TEZİ

DALGIÇ POMPALARDA KRİTİK DALMA DERİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Nuri ORHAN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sedat ÇALIŞIR

2018, 115 Sayfa

Jüri
Danışman:Prof. Dr. Sedat ÇALIŞIR
Prof.Dr. Vedat DEMİR
Prof.Dr. Haydar HACISEFEROĞULLARI
Yrd.Doç.Dr. Ali Müjdat ÖZKAN
Yrd.Doç.Dr. Tanzer ERYILMAZ

Bu çalışmada, dalgıç tip derin kuyu pompalarının çalışma parametreleri belirlenmiş, farklı anma çapı ve su giriş kesit alanlarındaki kritik dalma derinlikleri araştırılmıştır. Denemeler üç farklı çıkış çapına sahip dalgıç pompalarda yapılmıştır. Her bir pompa için üç farklı su giriş kesit alanında (KA) beş farklı debi (Q) değerinde ve farklı dalma derinliği (S) seviyelerinde; gürültü seviyesi (G), şebekeden çekilen güç (N), pompaya su giriş hızları (v_1,v_2), çıkış basıncı ($P_{b)}$, giriş basıncı (P_e) ve kamera görüntüleri (K_1,K_2) olmak üzere ölçümler yapılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre pompaların her üç anma çapı ve kesit alanı için debi değeri arttıkça kritik dalma derinliği seviyeleri yükselmiştir. Dalgıç pompalar için en yüksek kritik dalma derinliği seviyesi 1000 mm ile D_1 pompasında, en düşük seviye ise 10 mm ile D_3 pompasında bulunmuştur. Kesit alanının küçültülmesi kritik dalma derinliği seviyesini yükseltmiştir. Pompa anma çapları ve kritik dalma derinliği seviyeleri arasında ters bir ilişki olduğu görülmüştür. Pompaların anma çapı arttıkça kritik dalma derinliği seviyesi azalmıştır.

Vortekslerin genellikle 20 ile 100 mm arasındaki dalma derinliklerinde oluştuğu görüntülenmiştir. Ayrıca vortesk tiplerine kuyu kesit alanının, akış hızının ve pompaların yapısal özelliklerinin etkili olduğu belirlenmiştir.

Kuyu besleme borularının tam açık olduğu konumda pompa anma çapı arttıkça kuyuda meydana gelen düşüm seviyeleri artış göstermiştir. Sabit debi değerlerinde en yüksek düşüm seviyesi dalgıç pompalar 90 $m^3 h^{-1}$ debi değerinde 1590 mm ile D_3 pompasında meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dalgıç pompalar, Düşüm, Kritik dalma derinliği, Vorteks

ABSTRACT

Ph.D THESIS

SUBMERSIBLE PUMP DETERMINATION OF CRITICAL SUBMERGENCE

Nuri ORHAN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR
IN AGRICULTURAL MACHINERIES AND TECHNOLOGIES ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Sedat ÇALIŞIR

2018, 115 Pages

Jury
Advisor: Prof. Dr. Sedat ÇALIŞIR
Prof.Dr. Vedat DEMİR
Prof.Dr. Haydar HACISEFEROĞULLARI
Asst Prof. Ali Müjdat ÖZKAN
Asst Prof. Tanzer ERYILMAZ

In this study, the operating parameters of submersible pumps were determined and the critical submergence were investigated in different nominal diameters and water inlet cross-sectional areas. The experiments were carried out on the submersible pumps with three different output diameters. At different levels of submergence (S) and five different flow rates (Q) for each pump in three different water inlet cross sections(KA); noise level (G), power drawn from the mains (N), water inlet velocities (v_1, v_2), outlet pressure (P_b), inlet pressure (P_e) and camera images (K_1, K_2) measurements were made.

According to the results of the study; as the flow rate increased, the critical submergence levels increased for all three nominal diameters and cross-sectional areas of the pumps. The highest critical depth for the submersible pumps was found in the D_1 pump with a depth of 1000 mm and the lowest level in the D_3 pump with 10 mm. The reduction of the cross-sectional area increased the critical submergence. It was seen that there is an inverse relationship between pump nominal diameters and critical plunge submergence.

It was viewed by cameras that the vortices usually occur at submergence between 20 and 100 mm.In addition, it was determined that well cross-sectional area, the flow velocity and the structural properties of the pumps are effective in the vortex types.

At the position where the well feed pipes were fully opened, as the nominal diameter of the pump increased, the drawdown in the well increased. At constant flow rates, the highest drawdown at a flow rate of 90 $m^3 h^{-1}$ was found in the D_3 pump with 1590 mm for the submersible pumps.

Keywords: Drawdown, Submersible Pump, Submergence, Vortex

ÖNSÖZ

Sulama, doğal yollarla karşılanamayan ve bitki yetişme döneminde gerekli olan suyun bitkinin istediği zamanda ve miktarda, çevreye zarar vermeden, en az enerji tüketimi ve uygun yöntemlerle bitki yaşam alanına iletilmesidir. Su kaynakları, bitkisel üretimin yapıldığı alanlardan ya daha uzakta ya da daha derinde bulunmaktadır. Bu yüzden suyu bitki ile buluşturabilmek için bir enerji dönüştürme sistemi olan sulama pompaj tesislerinin kullanılması gerekli hale gelmektedir.

Ülkemizde yıllık kullanılan su tüketiminin yaklaşık %75'inin tarımsal sulamada kullanılıyor olması tüm dikkatleri sulamada etkinlik konusunun önemine yöneltmiştir. Sulamada kullanılan su kaynaklarına bakıldığında biri yerüstü diğeri yeraltı olmak üzere başlıca çeşidi karşımıza çıkmaktadır. Yeraltı su kaynakları başlıca kullanım alanları olan içme, endüstri ve tarım gibi her üç kesimde de oldukça yoğun bir kullanıma sahiptir.

Kesin envanteri çıkarılamamış olmasına karşın ülkemizde ruhsatlı ya da ruhsatsız olmak üzere 400 bine yakın yeraltı suyu kullanan derin kuyu pompaj tesisi olduğu tahmin edilmektedir. Yeraltı su kaynaklarından yararlanabilmek için öncelikle uygun görülen yerlere kuyuların açılması ve amaca uygun bir şekilde donatılması gerekmektedir. Bunun devamında ise optimum koşulları sağlayan milli ya da dalgıç tip derin kuyu pompalarının tasarlanması ve mevcut tasarımlar içinden seçilmesi gerekmektedir.

Yer altı su kaynaklarından ekonomik ve etkin bir şekilde tarımsal sulamada yararlanmak için kullanılan derin kuyu sulama pompasının optimum dalma derinliğinin önemini ön plana çıkarmaktadır. Bu çalışma ile derin kuyulara, derin kuyu sulama pompalarının yerleştirilmesinde esas alınarak kritik dalma derinliğini belirlemek ve bu derinliğe etki eden temel faktörlerin araştırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın TÜBİTAK projesi kapsamında desteklenmesini sağlayan, analiz ve sonuçların değerlendirilmesinde yardımını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Sedat ÇALIŞIR 'a ve tez yazımında yardımlarını esirgemeyen Prof.Dr. Haydar HACISEFEROĞULLARI'na çok teşekkür ederim.

Çalışmalarımın yürütülmesinde emekleri geçen bölümümüz mezunu Yüksek Ziraat Mühendisi Mehmet KURT'a, Yüksek lisans öğrencisi Hasan KIRILMAZ'a, bölümümüz teknisyeni Fevzi DUMAN 'a ve Bölüm Öğretim Elemanlarımıza ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yoğun çalışma hayatımda da destek olan sevgili kızım Miray Sare ORHAN ve eşim Betül ORHAN'a teşekkür ederim.

Nuri ORHAN

KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **5**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **21**

3.1. Materyal **21**
3.1.1. Kuyu donanımı 21
3.1.2. Deneylerde kullanılan dalgıç pompalar 23
3.1.3. Denemelerde kullanılan dalgıç motorlar 24
3.1.4. Dalgıç pompa kolon grubu 25
3.1.5. Elektrik panosu 26
3.1.6. Deneylerde kullanılan ölçme cihazlarının bazı teknik özellikleri 27
3.1.6.1. Debimetreler 27
3.1.6.2. Pozitif basınç ölçer (Manometre) 28
3.1.6.3. Negatif basınc ölçer (Vakummetre) 29
3.1.6.4. Güç analizörü 29
3.1.6.5. Hız (Akış) ölçerler 30
3.1.6.6. Sıcaklık ölçerler 31
3.1.6.7. Gürültü seviye ölçer 32
3.1.6.8. Bağıl nem ölçer 33
3.1.6.9. Seviye ölçer 34
3.1.6.10. Ölçme boruları 34
3.1.6.11. Kameralar 35
3.1.6.12. Yazılım ve otomasyon donanımı 36
3.2. Yöntem **39**
3.2.1. Kuyu donanımı ve pompa seçimi 39
3.2.2. Cihazların kuyu donanımı içindeki yerleşimi 39
3.2.3. Deney kombinasyonları 40
3.2.4. Deneme planı ve deneylerin yürütülmesi 41
3.2.5. Verilerin ve görüntülerin kayıtlanması 43
3.2.6. Ölçülen fiziksel büyüklükler 43
3.2.6.1. Pompa emiş basıncı 43
3.2.6.2. Şebekeden çekilen güç 44
3.2.6.3. Akış hızı 44
3.2.6.4. Sıcaklık ve bağıl nem 44
3.2.6.5. Gürültü seviyesi 44
3.2.6.6. Dalma derinliği 45
3.2.7. Kalibrasyon 45

3.2.7.1. Debimetre kalibrasyonu....45
3.2.7.2. Manometre kalibrasyonu....45
3.2.7.3. Güç analizörünün kalibrasyonu....46
3.2.7.4. Sıcaklık ölçer kalibrasyonu....46
3.2.8. Hesaplar....47
3.2.8.1. Toplam dinamik yükseklik....48
3.2.8.2. Kritik dalma derinliği....48
3.2.9. Vorteks tipi ve vorteks oluşum derinliği....49
3.2.10. Kritik dalma derinliğinin matematiksel ilişkileri....49
3.2.11. İstatistiksel değerlendirmeler....50

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA....51

4.1. Kiritik Dalma Derinliğinin Belirlenmesi....51
4.2. Vorteks Oluşumu ve Tiplerinin Belirlenmesi....55
4.3. Dalma Derinliğinin Gürültü Seviyesine Etkisi....57
4.4. Dalma Derinliğinin Çekilen Güç Üzerine Etkisi....59
4.5. Dalma Derinliğinin v_1 ve v_2 Hızlarına Etkisi....62
4.6. Dalma Derinliğinin Toplam Dinamik Yükseklik (TDY) Üzerine Etkisi....62
4.7. Dalgıç Pompalarda Farklı Anma Çapı ve Kesit Alanı Değişiminin Bazı Parametrelere Etkisi....66
4.7.1. Dalgıç pompalarda besleme boruların tam açık konumunda anma çapı ve giriş kesit alanının düşüme etkisi....66
4.7.2. Dalgıç pompalarda anma çapı ve giriş kesit alanının gürültü seviyesine etkisi....67
4.7.3. Dalgıç pompalarda anma çapı ve giriş kesit alanının güç (N) üzerine etkisi 68
4.7.4. Dalgıç pompalarda anma çapı ve giriş kesit alanının toplam dinamik yükseklik (TDY) üzerine etkisi....69
4.7.5. Dalgıç pompalarda anma çapı ve giriş kesit alanının v_1 ve v_2 hızlarına etkisi....69
4.8. Dalgıç Pompalarda Kritik ve Vorteks Dalma Derinliği İle Matematiksel İlişkisi....71

5. SONUÇ ve ÖNERİLER....72

5.1. Sonuçlar....72
5.2. Öneriler....74

KAYNAKLAR....75

EKLER....79

Ek-1 Çizelgeler-Deney Sonuçları....79
Ek-2 Şekiller-Kamera Görüntülerinde Vorteks Oluşumu....90

ÖZGEÇMİŞ....105

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

υ	: Kinematik viskozite	$mm^2\ s^{-1}$
A_h	: Pompa kolon boru arasında kalan halka kesit alanını	m^2
A_k	: Kolon borusu iç kesit alanı	m^2
BN	: Bağıl nem	%
D	: Boru çapı	m
F1	: Pompalanan suyun yukarı itme kuvvetini	N
F2	: Pompa emiş ağzı üzerindeki aşağı yönlü su yükü kuvvetini	N
Fr	: Froude sayısı	-
G	: Gürültü seviyesi	dBA
g	: Yerçekim ivmesi	$m\ s^{-2}$
h	: Yükseklik	m
H_a	: Barometrik basınç yüksekliği	m
H_b	: Buhar basıncı	m
H_d	: Dinamik yükseklik	m
Hke	: Emme borusu sürtünme kaybı	m
Hse_{max}	: Maksimum emme yüksekliği	m
L_{max}	: Maksimum Emiş Mesafesi	
n	: Devir sayısı	min^{-1}
N	: Şebekeden çekilen güç	kW
P_a	: Atmosfer basıncı	kPa
P_b	: Pozitif basınç	kPa
P_e	: Negatif basınç	kPa
Q	: Debi	$m^3\ h^{-1}$
R_e	: Reynolds sayısı	-
S	: Dalma derinliği	mm
S_h	: Hesaplanan kritik dalma derinliği	mm
S_k	: Kritik dalma derinliği	mm
S_v	: Vorteks oluşma dalma derinliği	mm
T_1	: Su sıcaklığı	^0C
T_2	: Dış ortam sıcaklığı	^0C
v_1	: Kolon borusu içinde ortalama su hızı	$m\ s^{-1}$
v_2	: Pompa giriş ağzındaki su hızı	$m\ s^{-1}$
v_{ort}	: Ortalama hız	$m\ s^{-1}$
W_e	: Weber sayısı	-
γ	: Suyun özgül ağırlığı	$kp\ m^{-3}$
Δ	: Kuyu su seviyesindeki düşüm	m
ρ	: Yoğunluk	$kg\ m^{-3}$

KISALTMALAR

$ÇZK_2$	: Çakıl zonu kalınlığı 100 mm	
D_1	: 6" anma çapındaki dalgıç pompa	
D_2	: 7"anma çapındaki dalgıç pompa	
D_3	: 8" anma çapındaki dalgıç pompa	
ENPY	: Emmedeki Net Pozitif Yük	m
$ENPY_0$	: En düşük ENPY	m
$ENPY_1$	: % 1 basma yüksekliği düşümündeki ENPY	m
$ENPY_3$	: % 3 basma yüksekliği düşümündeki ENPY	m
$ENPY_{başlangıç}$	: Kavitasyon başlangıcı için ENPY	m
$ENPY_{gürültü\ başlangıcı}$	: Gürültünün belirgin bir şekilde arttığı ENPY	m
$ENPY_{malzeme\ kaybı}$	: Malzeme kaybının başladığı ENPY	m
$ENPY_P$	: Emmedeki Net Pozitif Yük Gerekli	m
$ENPY_{P1}$	: Pompa giriş yüküne göre hesaplama	m
$ENPY_{P2}$	: Pompa debisi ve devir sayısına bağlı hesaplama	m
$ENPY_T$	: Tesise ait Emmedeki Net Pozitif Yük	m
$ENPY_{tamkavitasyon}$	:Değiştirilen emme yüklerine rağmen artık debide bir değişim gözlenmediği ENPY	m
FT_2	: Yatay Oblong yarıklı filtre	
K.O	: Kareler Ortalaması	
K.T	: Kareleri Toplamı	
K_1	: Radyal kamera görüntüsü	
K_2	: Eksenel kamera görüntüsü	
KA	:Pompa giriş ağzı kesit alanı	
KA_1	:Orijinal kesit alanına göre %20 daha küçük kesit alanı	
KA_2	:Orijinal kesit alanına	
KA_3	:Orijinal kesit alanına göre %20 daha büyük kesit alanı	
PE	: Polietilen	
TDY	: Toplam dinamik yükseklik	kPa

1. GİRİŞ

Bitkilerin normal gelişmesi için gerekli olan, ancak doğal yollarla karşılanamayan suyun, bitkinin istediği zamanda ve miktarda, çevreye zarar vermeden, en az enerji tüketimi ile uygun yöntemlerle (damla sulama, yağmurlama sulama, tarla başı, v.b) toprağa verilmesine sulama denir.

Ülkemiz kurak ve yarı kurak iklim kuşağında yer almasından dolayı yağışın yetersiz olduğu dönemlerde bitkilerin su isteği artmaktadır. Bitkilerin su istekleri karşılanamaması durumunda verimlerine doğrudan etki etmektedir. Sulama tarımsal ürünlerin verim artışına hem doğrudan etkilidir hem de diğer tekniklerin etkisini artırmaktadır. Yapılan çalışmalarda sulu koşullarda, kuru koşullara kıyasla iki katına varan verim artışları olduğu belirlenmiştir.

Sulu tarım uygulaması ile ürün verimleri yükselmekte, nadas ortadan kalkmakta, endüstri bitkilerin ekim alanları artmaktadır. Sulamadan sonra istihdam edilen kişi sayısı artmaktadır. Tarımsal üretimin sulama ile birlikte uygulanarak verimin ve gelirin artışı sayesinde bu yönde çalışmalar ve yatırımlar artmaktadır.

Ülkemizin toplam yüz ölçümünün yaklaşık olarak üçte birinde tarım yapılmaktadır. Yapılan etütlere göre mevcut su potansiyeli ile teknik ve ekonomik olarak sulanabilecek arazi miktarı 8.5 milyon hektardır. Bu alan içerisinde 6 milyon hektarlık alan sulamaya açılmıştır (Anonim, 2016).

Türkiye'de yıllık ortalama yağış yaklaşık 574 mm olup, yılda ortalama 450 milyar m^3 suya denk gelmektedir. Bu suyun yaklaşık olarak %55 toprak, su yüzeyleri ve bitkilerden buharlaşma yoluyla atmosfere geri dönmekte, %14'ü yeraltı suyunu beslemekte, geriye kalan kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 63 milyar m^3'lük suyun % 40'ı pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Teknik ve ekonomik şartlar altında, tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yılda ortalama toplam 94 milyar m^3 'tür. Belirlenen yer altı su potansiyeli ile birlikte yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m^3 olup, 54 milyar m^3 'ü kullanılmaktadır (Anonim, 2016).

Yıllık tüketilen suyun yaklaşık %75 de tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Yüzey suyunun ekonomik olarak kullanılmasının uygun olmadığı veya yetersiz olduğu alanlarda sulama suyu talebini yeraltı suyundan karşılamaktır. Ülkemizde 18 milyar m^3 yeraltı suyu rezervi bulunmakta ve mevcut rezervin 15 milyar m^3 $yıl^{-1}$ kullanılmaktadır

(%27'si sulama kooperatifleri-DSİ Sulamaları- kamu sulamaları, %26'sı içme kullanma suyu, %8'i sanayi suyu, %38.5'i belgeli şahıs sulamalarıdır) (Anonim, 2016).

Tarıma açılan arazi varlığımızın yaklaşık %24'ünü oluşturan sulamaya açılmış arazinin %31'u kuyulardan, %28'i akarsulardan, %10 kaynaklardan, %3 göletlerden geriye kalan kısımlar ise diğer su kaynaklarından sağlanmaktadır. Başka bir ifade ile toplam 1.275.676 adet sulu tarım işletmesinin, %30.8'inde kuyu suyu sulaması yapılmaktadır. Tarımsal amaçlı elektro-motopomp, termo-motopomp, santrifüj pompa ve derin kuyu pompası toplamının 587.169 adet olduğu, bunların %20.9'unu derin kuyu pompası olduğu istatistiklerde yer almaktadır (Anonim, 2016).

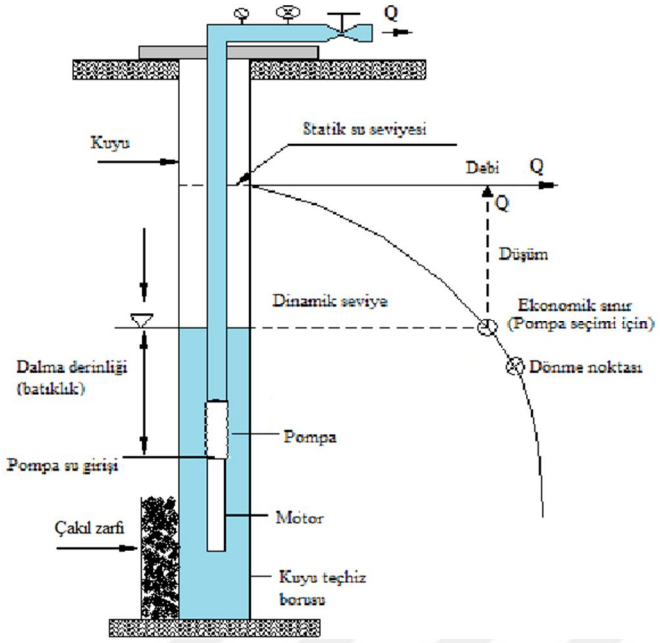
Uygulamada pompalar hacimsel ve rotodinamik olmak üzere ikiye ayrılır.

Hacimsel pompalar, su içerisinde hacim kaplayarak ilerleyen hareketli organ, suyu itmek ve sıkıştırmak suretiyle taşıdığı mekanik enerjiyi suya iletir. Hacimsel pompalarda akış kesikli ve debi sınırlıdır. Ancak bu pompalar yüksek basınç üretirler.

Rotodinamik pompalar, bir gövde içerisinde dönen bir eleman ile suya kinetik enerji kesiksiz olarak iletilmekte, su daha sonra kesiti giderek genişleyen bir gövde içerisinde hareket ederken kinetik enerjisi basınç enerjisine dönüştürülmektedir. Tarımsal sulama amaçlı kullanılan pompalar genellikle rotodinamik pompa grubuna giren santrifüj pompalardır. Tarımsal amaçlı sulama da kullanılan santrifüj pompaların tipleri ise yatay eksenli pompalar, derin kuyu pompaları ve eksenel pompalar olarak gösterilebilir.

Derin kuyu pompaları özel olarak açılan derin kuyulardan su sağlamak için kullanılır. Derin kuyu pompaları kademeli olarak yapılır ve kademe sayısına bağlı olarak 300-400 m derinlikten suyu yer yüzeyine çıkartabilirler. Sondaj makinaları ile açılan bu kuyulara uygun çap ve kademe sayısına sahip derin kuyu pompaları belirli standartlar altında yerleştirilir. Derin kuyu pompalarına güç iletiminde iki değişik yöntem izlendiğinden, düşey milli derin kuyu pompası ve dalgıç derin kuyu pompası olmak üzere iki tip derin kuyu pompası geliştirilmiştir.

Kuyu içine yerleştirilen tipik bir dalgıç tip derin kuyu pompası, terminolojiye uygun temel yükseklik terimleri ve kuyu karakteristiği Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Derin kuyu karakteristik eğrisi ve temel yükseklik terimleri

Derin kuyu pompaları da santrifüj esasa göre çalıştığından ilk kademesi ve emiş (su girişi) ağzının su içinde ve kuyu dinamik seviyenin altında bulunması gerekir. Ancak uygulamada özellikle derin kuyu pompaj tesislerinde, pompa dalma derinliğinin (batıklık) ne kadar olması gerektiği konusunda net bir literatür bilgisine rastlanmamıştır. Dalma derinliği, kritik değerden küçük olması durumunda vorteks oluşmakta ve pompa emişi kaybetmektedir. Bu riski göze alamayan pompa imalatçı ve montajcıları dalma derinliğini olabildiğince yüksek tutmaktadır. Bunun sonucunda tonlarca işlenmiş malzeme (kolon borusu) gereksiz yere su içine gömülmekte, yatırım maliyeti ve gereksiz sürtünme kayıplarından dolayı işletme giderleri artmaktadır. Bu durum, işletme ve ülke bazında çok önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Buna montaj işgücünü ve harcanan zamanı da eklemek mümkündür.

Düşey milli tip derin kuyu pompaları için maksimum dalma derinliğinin 5 m olması yeterlidir (Schulz, 1977). Konya bölgesinde yapılan bir çalışmada, düşey milli derin kuyu pompalarının dalma derinliğinin olması gereken değerden (dinamik seviyenin 5 m altı) çok daha büyük olduğu görülmüştür. Dalma derinliği, derin kuyu sulama pompaj tesislerinin %18'inde %20; %47'sinde %20-40 ve %35'inde ise %40'dan daha fazla derinde olduğu belirlenmiştir (Çalışır ve Konak, 1998) Örneklendirmek gerekirse, dinamik su seviyesi 35 m olan bir kuyu için pompa 40 m yerine 60 m'ye kurulmakta, yani pompa dalma derinliği 25 m'yi bulmaktadır. Bunun nedeni sonraki yıllarda minimum dinamik seviyesinin düşme olasılığı endişesi ve buna

karşı alınan aşırı emniyet tedbiri olarak açıklanmaktadır. Ayrıca Çalışır (2007)'de KOP bölgesi sahasında yer alan toplam 110 dalgıç tip derin kuyu pompaj tesisindeki kuyu dinamik su seviyesi ile dalma derinliği arasında da benzer ilişkiler olduğunu ifade etmiştir.

Ülkemizde bu amaca yönelik yapılmış özgün bir çalışmaya rastlanmamıştır. Önceki sınırlı sayıdaki çalışmalar, genellikle yerüstü su kaynaklarından (havuz, göl, gölet vb) yatay milli santrifüj pompalar ile su pompajı üzerine yapılmıştır.

Bu çalışma ile derin kuyulara, dalgıç pompaların yerleştirilmesinde esas alınacak kritik dalma derinliğini belirlemek ve bu derinliğe etki eden temel faktörlerin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, 3 farklı anma çapında dalgıç pompada, 3 farklı giriş kesit alanında, 5 farklı debi değerinde ve 5 farklı dalma derinliğinde özel olarak kurulan bir deneme düzeni yardımıyla, basınçlar, debi, hız, sıcaklık, nem, gürültü gibi değerler ölçülmüştür. Ayrıca çalışma anında vorteks oluşumunun etkilerinin izlenmesi amacıyla gerekli olan bölümlerde, görüntüler özel kameralar ile anlık olarak kayıt altına alınmıştır. Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, derin kuyu pompalarında dalma derinliklerine ilişkin temel oluşturabilecek veriler ortaya konulmuştur.

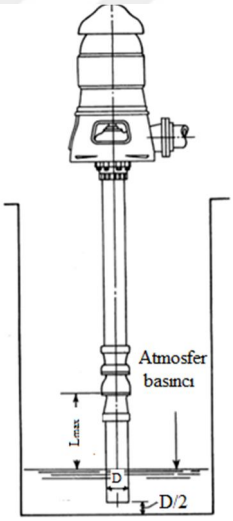
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaynak araştırması bölümü çok geniş bir çalışma alanını kapsadığından dolayı, sadece pompaj tesislerinin çalışma prensipleri, vorteks oluşumu, vorteksin belirlenmesinde kullanılan yöntemler, bu konuda geliştirilen model ve yazılımlar ile ilgili literatür bilgileri ile sınırlandırılmıştır.

Fabrin (1953), türbin tip derin kuyu pompalarında çarkın altına emiş borusunun bağlanması durumunda pompaların daha derine indirilmesine gerek olmayacağını ve emme derinliğinin aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabileceğini belirtmiştir.

$$L_{max}= H_a- H_b - H_{ke} -\Sigma_h \qquad (2.1)$$

Bu eşitlikte L_{max} maksimum emiş mesafesini, H_a barometrik basınç yüksekliğini, H_b buhar basıncı yüksekliğini, H_{ke} emme borusundaki sürtünme kaybını ve $\sum_h$'ın ise maksimum verim noktasında pompanın geliştirtiği toplam yüksekliği ifade ettiğini, ayrıca sıvının yoğunluğu ve yer çekim ivmesinin de ihmal edilmemesi gerektiğini vurgulamıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Derin kuyu pompalarında dalma derinliği

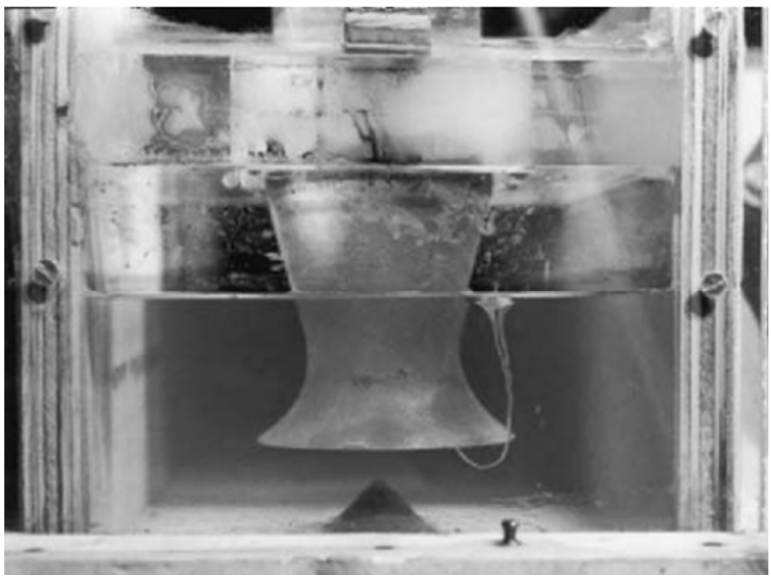
Schulz (1977), derin kuyu pompalarının montajında dalma derinliğinin 5 m'nin altında olmasının yeterli olacağını vurgulamıştır.

Jain ve ark.,(1978), kritik dalma derinliğine, giriş kanalının genişliğinin, giriş borusu çapının, debinin, akış sirkülasyonunun, yerçekimi ivmesinin, sıvının yoğunluğunun, yüzey geriliminin ve kinematik vizkosite gibi fiziksel büyüklüklerin fonksiyonu olarak değişebileceğini belirtmişlerdir.

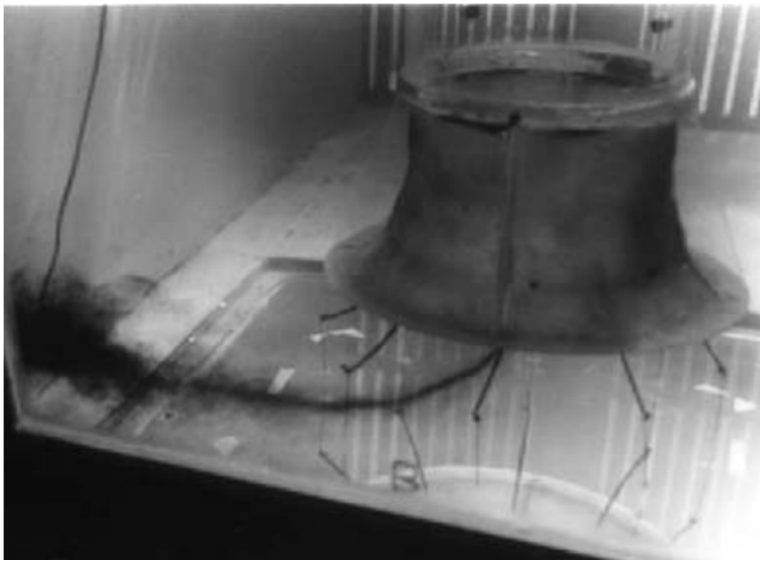
Tezer (1978), santrifüj pompaların emme hattı genellikle negatif basınç altında ve su yüzeyi atmosfer basıncı koşullarında çalıştığını, bu yüzden emme hattının havasının alınması veya su ile doldurulması gerektiğini vurgulamıştır.

Rindels ve Gulliver (1983), emme alanlarında oluşabilecek serbest yüzey vortekslerininin pompa ve menfezlerde, aşırı titreşime, verim kaybına, yapısal hasar ve debi azalmasına neden olabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca potansiyel serbest yüzey vorteksinin önlenmesinde ve tasarım aşamasında buna izin vermeyecek düzenlemelerin dikkate alınması gerektiğini bildirmektedirler. Ön emme tasarımına yardımcı olmak için birkaç defa dikey ve yatay su alımıyla, kritik dalma derinliği ile Freude sayısı arasındaki ilişkileri irdelemişlerdir. Freude sayısının 1.5 den büyük olduğu akışlarda dalma derinliğine bağlı olarak vorteksin oluşma riskinin arttığını belirtmişlerdir.

Karassik ve ark., (1986), yüzey vorteksinin emme borusundaki hava konsantrasyonunun %3 ile %5 arasında olmasının pompanın verimini düşürebileceğini ve büyük kabarcıklar veya salyangozlar şeklindeki havanın çarkın titremesine neden olabileceğini açıklamışlardır. Yazarlar pompa emme ağzında oluşan serbest yüzey vorteksinin Şekil 2.2'deki gibi göründüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca alt yüzey vortekslerinin genellikle bir zeminden veya duvardan kaynaklandığını, vorteks çekirdeğindeki azaltılmış basıncın, pompa çarkında dalgalanan yüke neden olduğunu ve titreşim ve gürültünün meydana geldiğini açıklamışlardır (Şekil 2.3).



Şekil 2.2. Pompa emme girişinde serbest yüzey vorteksi



Şekil 2.3. Duvar tarafında gerçekleşen alt yüzey vorteksi

Yildirim ve Kocabaş (1995), su alma ağzı şeklinin, geometrisinin, konumunun, taban ve yan duvarlara olan mesafesinin kritik dalma derinliğine etkili olduğunu ve ihmal edilmemesi gerektiğini vurgulamışlardır. Dairesel kesitli su alma boruları için bulunan krtik dalma derinliği formüllerinin, dairesel kesitli olmayan (boyutları büyük olmayan dikdörtgen kesitli) su alma ağızları içinde kullanılabileceğini, ancak boyut oranının büyümesiyle teori ile deneysel olarak elde ettikleri sonuçlar arasındaki farkın büyük olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Çalışır ve Konak (1998), düşey milli derin kuyu pompaları için 5 m' lik optiumum dalma derinliğini esas alarak, dalma derinliği değerlerini belirlemişlerdir. Konya Bölgesindeki derin kuyu sulama pompaj tesislerinin %18'inde dalma derinliğinin %20 oranında, pompaj tesislerinin %47'sinde dalma derinliğinin %20-40 arasında ve tesislerin %35'inde ise dalma derinliğinin %40'dan büyük olduğunu belirtmişledir.

Culver ve Rafferty (1998), bir kuyuda pompanın yerleştirme uzunluğunun belirlenmesinde, kurulum derinliği için gerekli net pozitif emme yüksekliğinin ($ENPY_R$) belirlemesi gerektiğini ve bunun kavitasyonu engellemek için pompalama seviyesinin altındaki ilk kademenin minimum mesafesinin fonksiyonu olduğunu belirtmiştir.

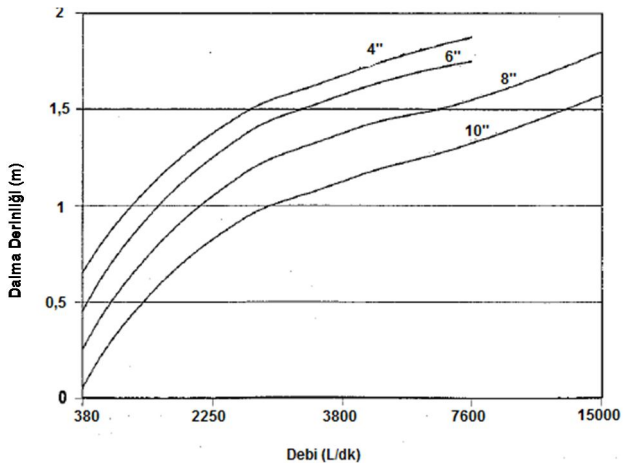
Yildirim ve Kocabaş (1998), hidrolik mühendisliğinde karşılaşılan en önemli problemlerden birisinin su alım yapılarında meydana gelen çevrinti (vorteks) oluşumu olduğunu, dalma derinliği değerinin istenen büyüklükte olmadığında havanın serbest

yüzeyli bir vorteksle pompa girişine girdiğini ve sürüklenen havanın pompanın verimliliğinde sorunlar oluştuduğunu vurgulamışlardır.

Gülcan (1999), su alma ağzında oluşan vorteksin hem akım şartlarına hem de su alma ağzı yapısının konumuna ve geometrisine bağlı olduğunu belirtmiştir. Araştırmada DSİ yöntemiyle bulunan en büyük S/Di (dalma derinliği/çap) oranını 1.5, normalde ise bu değerin 0.80 olması gerektiğini, kendileri ise du değeri 1.1 olarak belirlemiştir. Sonuçların birbirine yakın olduğunu, ancak Fr sayısının büyümesiyle aradaki farkın büyüyeceğini belirtmektedir.

Jersen ve Dayton (2000), kavitasyonun algılanması amacıyla dinamik giriş basıncının ölçülmesinin statik giriş basıncının ölçülmesinden daha iyi sonuçlar vediğini ifade etmişlerdir.

Hanson (2000), yatay milli santrifüj pompalarda su yüzeyinde oluşan vorteks mekanizmasını, ayrıca vorteksin, pompanın etkinliğini, debisini ve basıncını azatlığı gibi gürültülü çalışmasına neden olacağını açıklamıştır. Vorteksin oluşmasını engellemek için debi ve emme borusu çapına bağlı olarak bazı dalma derinliği değerlerini tavsiye etmiştir. Yüzey sularında pompa dalma derinliğinin pompa emiş ağzı çapının 1.5 katından az olmaması gerektiğini vurgulamıştır. Boru çapına bağlı olarak kritik dalma derinliği ile debi arasındaki ilişkiyi, kritik dalma deriliğinin sabit debide boru çapının azalmasıyla yükseldiğini, sabit kritik dalma derinliğinde ise boru çapının atırılması ile daha büyük debi değerlerinin elde edilebileceğini vurgulamıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Çapa bağlı olarak dalma derinliği ve debi ilişkisi (Hanson, 2000)

Hofmann ve ark.,(2001), iki benzer çarkın geometrik özelliklerinin, periyodik olarak tekrarlayan düşük debi kavitasyon karakteristiklerine etkisini optik ölçüm yöntemiyle test etmişlerdir. Söz konusu pompaların 0.5 benzerlik faktörü ile geometrik

olarak ölçeklendirmişler, aynı özgül hız ve aynı Reynolds sayısında çalıştırarak, geometrik olarak benzer çarkların ENPY karakteristikleri bakımından da benzerlik gösterdiğini saptamışlardır.

Nagahara ve ark., (2001), model bir pompa ve su toplama haznesi kullanarak, karışık akışlı bir pompa çarkında su altında oluşan hidrolik kuvvetlerin oluşturduğu vortekslerin kavitasyon oluşumuna etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde pompa çarkına ulaşan su altı vortekslerini yüksek hızlı bir kamerayla gözlemişler ve pompa çarkına ulaşan hidrolik kuvvetleri ise yük ölçerler ile ölçülmüşlerdir (Şekil 2.5). Bu ölçümleri hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ile doğrulanmışlardır. Ayrıca vorteks kavitasyonunun, karterin bir zeminden pompa girişine kadar olan mesafede oluştuğunu ve çarka ulaştığını açıklamışlardır.



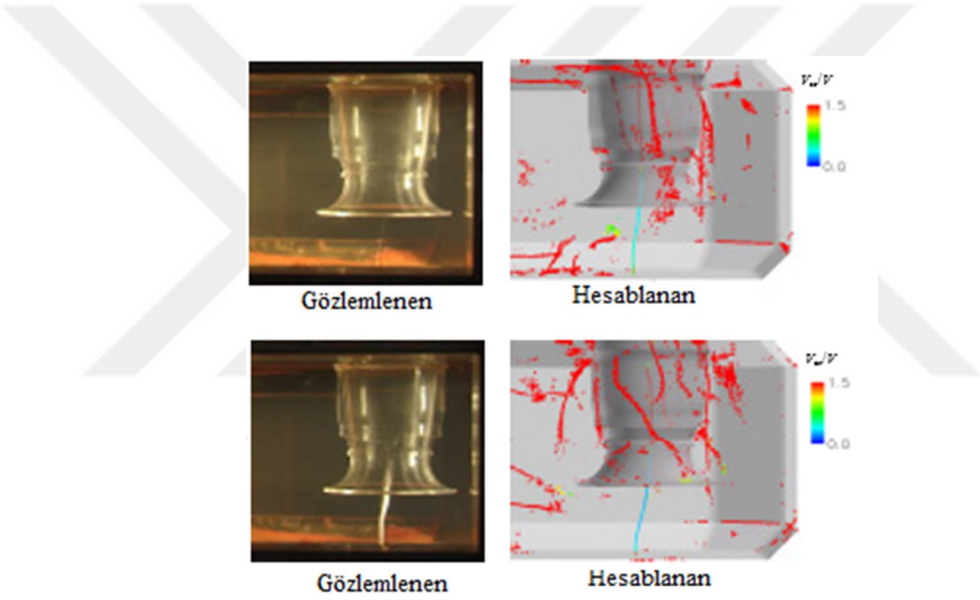
Şekil 2.5. Girişte açığa çıkan dalgıç vorteks kavitasyonu

Paugh (2001), bir pompanın kavitasyon olmadan çalışması için mevcut $ENPY_m$ değerinin, gerekli $ENPY_P$ değerinden yaklaşık olarak 0.5 ile 1 m arasındaki değerden büyük olması gerektiği belirtmektedirler. Başka bir ifadeyle emniyet faktörünün 0.5 ile 1 m aralığında olmasını önermektedir. Buna karşın pompalanan sıvının içinde gaz (soda gibi) veya jeotermal kaynaktan sıcak su pompalanıyorsa, emniyet faktörünün 2 m'ye kadar çıkartılabileceğini belirtmiştir.

Savva ve Frenken (2002), pompanın iyi bir emiş yapması için uzun emme borusu kullanılmaması gerektiğini, ayrıca emme borusu çapının da büyük tutulması gerektiğini belirtmişlerdir. Emme borusundaki hava kabarcıklarının, pompa performansının düşmesine neden olduğunu, pompaj tesisi tamamlandıktan sonra pompa çalıştırılmadan önce emme borusunun havasının boşaltılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Čdina (2003), sabit debi değerinde pompa basma yüksekliği değişkeni ENPY koşulları altında ölçmüştür. Ölçümler yapılırken ses spektrumu pompaya 0.5-1 m uzaklıkta bir mikrofon yardımıyla kaydetmiştir. Kavitasyonlu durumda oluşan ses seviyelerinin 147 Hz frekansında gerçekleştiğini ve ses frekansının 147 Hz'deki ses seviyesinin 70-80 dBA olduğunu, böylece ses basınç seviyesi ölçümlerinden ENPY tahminini yapmanın mümkün olabileceğini vurgulamıştır.

Nagahara ve ark., (2003), vorteksi deneysel ve CFD yazılımı kullanarak incelemiştir. Deneysel olarak oluşturduğu tankta farklı giriş hızı, tank basıncı, türbülansın hızı gibi parametreler alarak denemeleri yapmıştır. Sonuç olarak deneysel ve hesaplanmış sonuçlara göre oluşan vortekslerin birbirleriyle uyuştuğunu belirtmiştir (Şekil 2.6)



Şekil 2.6. CFD de hesaplanan ile gözlemlenen dalma derinliğine bağlı vorteks kavitasyonu

Ahmad ve ark.(2004), açık kanal akışında yatay eksende farklı su alma ağzı boru çapları için su alma ağzı kritik dalma derinliğini, Sk/D oranını, Fr, Re ve We sayısı gibi boyutsuz büyükleri incelemişlerdir. Boyutsuz büyüklüklerin artışıyla bağıl dalma derinliğinin (Sk/D) yükseldiğini tespit etmişler ve araştırma sonuçlarını Çizelge 2.1'de özetlemişlerdir.

Çizelge 2.1 Bazı parametreler ve buna karşılık gelen değerler

Parametreler	Değer aralıkları
Su alma ağzı borusu giriş çapı (D) cm	6.25 -10.16 - 42.5
Ortalama giriş hızı (m s^{-1})	0.37- 4.30
Akışın yaklaşım hızı (m s^{-1})	0.09 – 0.56
Batıklık açıklığı (cm)	0 – 5.08
Kritik dalma derinliği Sk (cm)	0.86-25.13

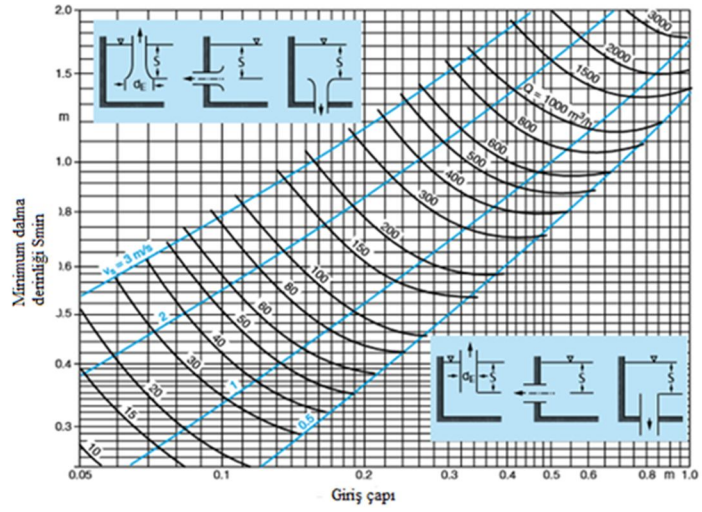
Giriş debisi ($m^3 s^{-1}$)	0.0028 – 0.0064
Kanal derinliği (m)	7.65 – 33.45
Fr (-)	0.37 – 6.66
Re (-)	37 600 – 183 000
We (-)	190 – 10 800

Eryılmaz ve Çalışır (2004), tarımsal sulamada yaygın olarak kullanılan 4", 6" ve 8" anma çapındaki yatay milli salyangoz gövdeli santrifüj pompaların kavitasyon karakteristiğini, sabit işletme hızlarındaki debi ile $ENPY_3$ ilişkisini ortaya koyarak saptamıştır. Araştırma sonuçlarına göre $ENPY_3$'ün (m), debi (m^3s^{-1}) ve devir sayısına (min^{-1}) bağlı olarak ilişkisini aşağıda verilen eşitlik gibi olduğunu tespit etmiştir.

$$ENPY_3 = 4.54^{-5}\ Q^{\,0,7226}\ n^{\,1,27} \qquad (2.2)$$

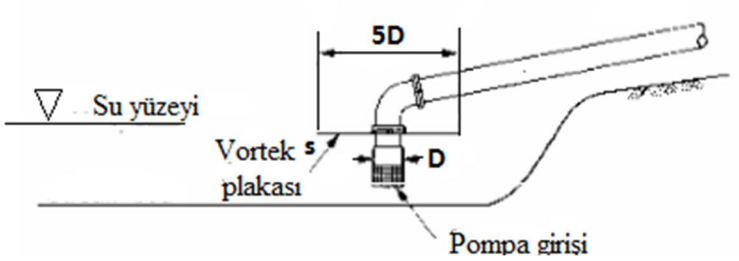
Schiavello ve ark.,(2004), uygun olmayan emme koşullarında türbülansa neden olan ters akışın meydana geldiğini, oluşan türbülansın enerjisinin pompa ve borularda akustik rezonansı tetiklediğini belirtmişlerdir. Meydana gelen türbülansın, pompa kaynaklı (boyut, özgül hız, hidrolik ve mekanik dizayn özellikleri) ve tesis kaynaklı (kuyu geometrisi, su seviyesi veya batıklık), akustik rezonansın ise sistemde vibrasyon, performans kaybı ve gürültü oluşturduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, pompa test ünitelerinde debinin düşürülmesinin geri akışa neden olduğunu, bununda pompada doğal frekansı meydana getirdiğini bildirmektedirler.

KSB (2005), minimum dalma derinliğini su alma ağzı çapı ve konumu, akış hızı ve debinin fonksiyonu olarak Şekil 2.7'de olduğu gibi verilmiştir.



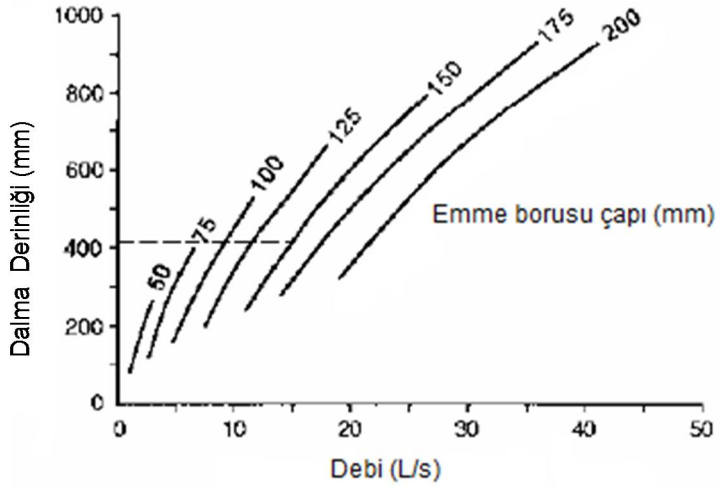
Şekil 2.7. Yatay ve dikey giriş ağızlarında minimum dalma derinliği arasındaki ilişki (KSB., 2005)

Christiansen (2005), pompanın yeterli dalma derinliği bulunmuyorsa hava almasını önlemek için vorteks plakasının kullanılabileceğini belirtmiştir (Şekil 2.8). Bu plakanın dairesel ve pompa emiş borusu çapının en az beş katı olması gerektiğini açıklamıştır.



Şekil 2.8. Vorteks plakası

Aynı yazar, sığ göllerde yatay milli santrifüj pompa ile çalışmada emme hattının hava çekmesini ve vorteks oluşumunu engellemek için yeterli dalma derinliğinde olması gerektiğini ve pompanın suyu almasını istenilen dalma derinliğine, emme borusunun çapına ve debiye bağlı olduğunu açıklamıştır (Şekil 2.9).



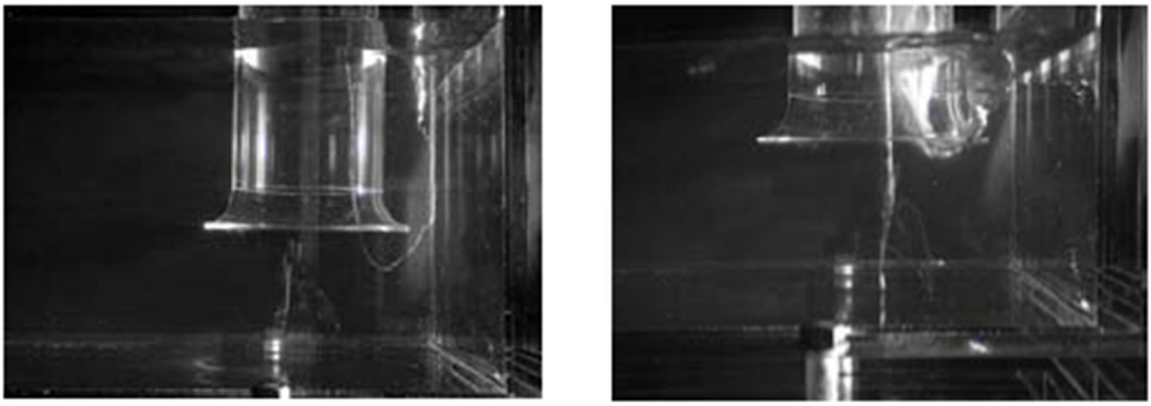
Şekil 2.9. Dalma derinliği ve debi ilişkisi

Okamura ve ark., (2007), farklı debiler için kritik dalma derinliklerini video kamera ile incelemişlerdir. Denemelerde vorteks davranışının dengesiz ve vorteks süresinin değiştiğini, vorteksi için kritik dalma derinliğinin debi ile orantılı olduğunu, CFD ile girişte hesaplanan hızın deneysel sonuçları ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Araştırma sonuçlarna göre debinin (Q) ve su seviyesinin (S) oluşturduğu vorteksler Çizelge 2.2'deki gibi açıklamışlardır. Şekil 2.10'da ise durum 1 için vortek hareketinde

vortekslerin sabit halde olduklarını, durum 2 için hava girişlerinin istikrarsız olduğunu bu nedenle vorteksin sıklıkla görülüp kaybolduğunu, durum 3 için ise dalma derinliğinde vorteks kabarcıklarının bulunduğunu açıklamışlardır.

Çizelge 2.2. Debi ve dalma derinliğine göre vorteks oluşumu

Durum	Q (m^3h^{-1})	S (mm)	Vorteks durumu
1	60	230	Hava girişli vorteks (istikrarlı)
2	36	230	Hava girişli vorteks (istikrarsız)
3	60	150	Dalma derinliği vorteksi ve hava girişli vorteks

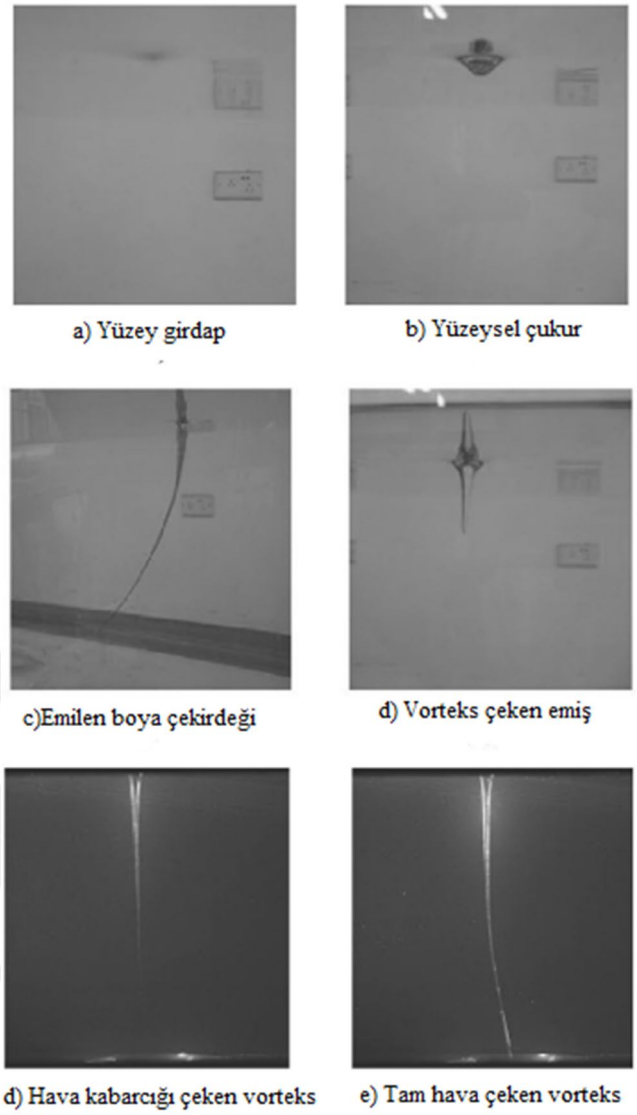


a) Hava girişli vorteks b) Sürekli hava girişli dalma derinliği vorteksi

Şekil 2.10. Farklı su seviyelerinde oluşan vorteksler

Budea ve Ciocanea (2008), santrifüj pompalarda ENPY'nin etkisinin, emme odasındaki vortekslere bağlı olan emme kesitindeki azalmalara dayandığını, hidrolik makinelerde bu durumun elde edilen hız üçgenlerini değiştirdiğini bildirmişlerdir.

Li ve ark. (2008), vorteksin gelişme aşamalarını ölçmek için Parçacık görüntüsü hız ölçümü (Praticle Image Velocitymeter) yöntemini kullanmışlardır. Elde ettikleri deneysel verilere göre altı tip vorteksi görüntülemişler ve sınıflandırmışlardır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Deneysel elde edilen vorteks tipleri

Čudina ve Prezelj (2009), üç adet farklı pompanın ses basınç seviyelerini ve kavitasyon karakteristiklerini eşleştirilmişlerdir. Tam gelişmiş kavitasyonda frekans değerini 2176 Hz olarak belirtmişlerdir. Bu frekansda, kanat geçiş frekansının 7. harmoniğine denk geldiğini belirtmişlerdir. Belirli bir frekans değerinde ya da ayrık frekans spektrumunun pik noktasında ortaya çıkan değerin ise kritik ENPY değeri ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Fais ve Genovez (2009), günümüzde su emme ağızlarındaki vorteks oluşumunun hala önemli bir konu olduğunu belirtmektedirler. Araştırmalarında, dikey su girişlerdeki dalma derinliği ve hava girişi (vorteks) ile ilgili tasarım kriterlerini belirlemişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçlara göre su alma giriş ağzı tipinin içeriye giren havanın miktarını etkilediğini, hava girişi ile vorteksin oluşmasını önlemek için Freund sayısının

1.0' den büyük, bağıl dalma deriniği oranının ise (S/D) en az 0.7 olması gerektiğini vurgulamışlardır.

Gürbüzdal (2009), yatay ağızlı su alma yapılarında oluşan hava girişli vorteksleri bir model ile incelemiştir. Büyük bir rezervuara yerleştirilmiş dört farklı çaptaki su alma ağzı ile deneyleri gerçekleştirmiştir. Kritik dalma derinliğinin, model büyüklüğü oranın ve yan duvar yakınlık oranının, Reynolds sayısındaki farklılıklardan etkilendiğini belirlemiş ve elde ettiği dalma derinliği ile giriş çapı arasındaki (Sk/D) ilişkiyi ($0.65 \leq Fr < 0.92$) Çizelge 2.3'de görüldüğü gibi açıklamıştır.

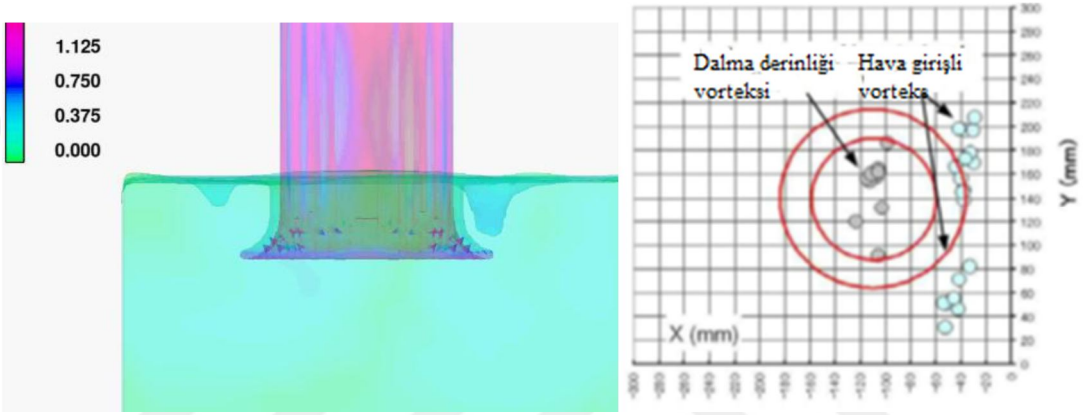
Çizelge 2.3. $0.65 \leq Fr \leq 0.90$ için boru çapı, Re ve bağıl kritik dalma derinliği ilişkisi

Fr	D (cm)	S_k/D^*	R_e
0.65	19.72	1.003	$1.78\ 10^5$
	15.23	0.818	$1.21\ 10^5$
	9.28	0.428	$5.73\ 10^4$
	6.12	0.287	$3.07\ 10^4$
0.7	19.72	1.011	$1.91\ 10^5$
	15.23	0.876	$1.30\ 10^5$
	9.28	0.452	$6.17\ 10^4$
	6.12	0.312	$3.31\ 10^4$
0.75	19.72	1.108	$2.05\ 10^5$
	15.23	0.934	$1.39\ 10^5$
	9.28	0.476	$6.61\ 10^5$
	6.12	0.338	$3.54\ 10^5$
0.8	19.72	1.132	$2.19\ 10^5$
	15.23	0.968	$1.48\ 10^5$
	9.28	0.5	$7.06\ 10^4$
	6.12	0.364	$3.78\ 10^4$
0.85	19.72	1.153	$2.32\ 10^5$
	15.23	0.992	$1.58\ 10^5$
	9.28	0.524	$7.50\ 10^5$
	6.12	0.389	$4.02\ 10^5$
0.9	19.72	1.22	$2.46\ 10^5$
	15.23	1.057	$1.67\ 10^5$
	9.28	0.548	$7.94\ 10^4$
	6.12	0.415	$4.25\ 10^4$

*Sk/D değerleri ile Froude sayıları için her emme borusu deneysel sonuçlarından interpolasyon yöntemi ile elde etmiştir

Borghei ve Kabiri-Samani (2010), yüzey vorteksinin oluşmasını önlemek için vorteks kırıcı plakaların kullanılmasının geçerli yöntem olduğunu, 75 mm ve 100 mm çapındaki dikey çıkış boruları için vorteks önleyici plakanın boyutlarını ve konumlarını saptamışlardır. Plakalar boyutlarınının, plaka uzunluğu (a) / boru su giriş çapı (D) oranının 3'e eşit ve küçük, plaka genişliğini (b) / boru su giriş çapı (D) oranının 2'ye eşit ve küçük olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Lucino ve Gonzalo Dur (2010), bazı deneysel test modellerini referans alarak CFD analizleri ile karşılaştırma yapmışlardır. Çalışma da CFD kodlarının (Navier-Stokes denklemi ve sürekliliği) sayısal değerleri ile deneysel sonuçlar karşılaştırmışlar. Ölçümler PIV (Praticle Image Velocitymeter) tekniği ve lazer ışıklı levha kullanılarak gerçekleştirmişlerdir (Şekil 2.12). Vortekslerin dengesiz olduğunu ve testlerde yapılan ölçümlerde zamana göre değişim gösterdiğini, ayrıca köşe vortekslerine karşılık gelen serbest yüzey çöküntüsünün yüksek hızın bir sonucu olduğunu ve akış bozulmalarından dolayı bunun kaybolduğu tahmininde bulunmuşlardır.



Şekil 2.12. CFD'de serbest yüzey çöküntüleri ve ölçülen hava girişli voreks merkezi ve dalma derinliği vorteks merkezi üstten görünüş

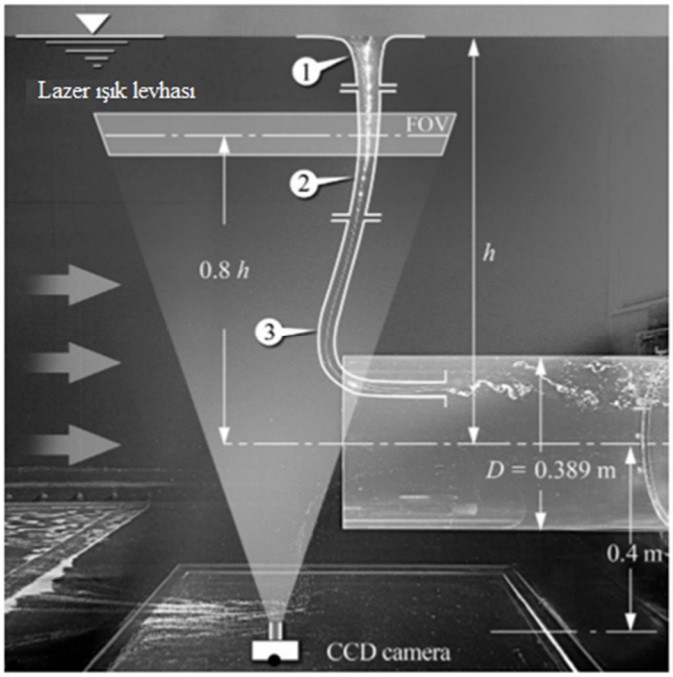
Yong ve ark.,(2012), pompada kavitasyona bağlı titreşimin hangi bölgelerde olduğu araştırmışlardır. Farklı ENPY değerlerindeki sonuçlara göre en yüksek titreşimin salyangoz gövde yan duvarında, pompa çıkışında ve giriş flanşı üzerinde bulunduğunu, ayrıca ses basınç seviyesinin ve titreşim karakteristiğinin aynı yönde eğilim gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Kleynhans (2012), dört farklı emiş ağzının farklı dalma derinliklerinde ve zemin yüksekliklerinde denemelerini yapmıştır. Geleneksel düz alt emme ağzının pompa başına 2.5 $m^3 s^{-1}$ değerine kadar olan akışlar için kullanılabileceğini, emme haznesi giriş hızlarının 1.5 $m s^{-1}$ ile sınırlandırılması gerektiğini bildirmektedir.

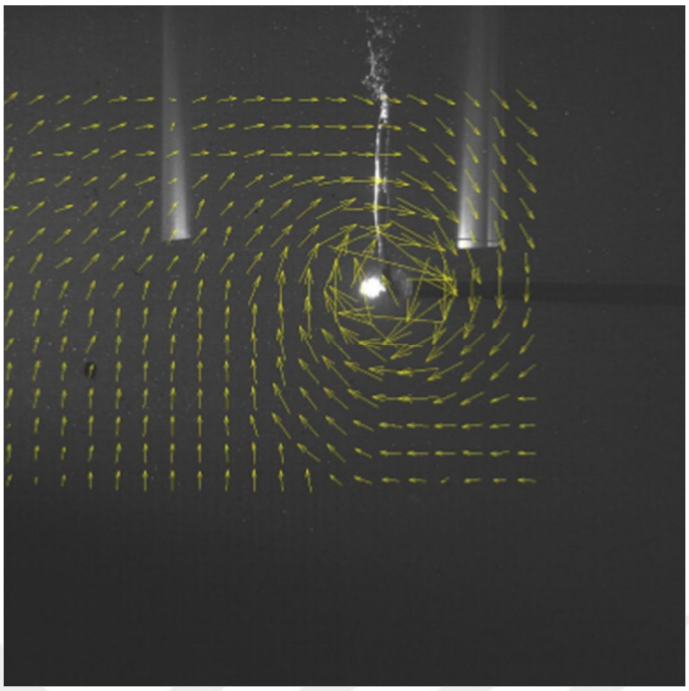
Kocabaş ve ark., (2013), farklı boru çapları için Sk (kritik dalma derinliği) değerinin tahmini için deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Fuzzy Genetic (FG) yaklaşımlarında Sk/Di modellenmesini amaçlayarak, kanal açık debisi (U), boru giriş debisi (Vi) ve prozite (n) girdi değerleri olarak kullanmışlar ve kritik dalma derinliği oranını (Sc/Di) çıktı olarak belirtmişlerdir. Çıktı oranını Fuzzy Genetic (FG), uyabilen

sinirsel bulanık çıkarım (ANFIS) ve yapay sinir ağları (ANNs) ile karşılaştırmışlardır. FG modellerinin ANFIS ve ANN 'nin kullanılan veri setleri için ortalama karesel hata (RMSE) ve kararlılık katsayısı (R^2) değerlerinin istatistikleri açısından daha iyi performans gösterdiğini, FG modellerinin ise Sc/Di tahmininde ANN ve ANFIS modellerinden daha üstün olduğunu ve giriş için kritik dalma derinliği tahmininde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Möller (2013), vortekslere bağlı hava girişi oranlarını incelemiş ve laboratuvar tankında büyük ölçekli fiziksel model testleri yapmıştır. Vorteks etrafındaki yatay hız alanı oluşumunu 2B Parçacık Görüntüsü hız ölçüm sistemi (PIV) ile ölçmüştür (Şekil 2.14). Ölçüm sisteminin, hava borusunun düz olduğu ve çoğu zaman dikey olarak yönlendirildiği emme borusundan 0.8 h yüksekliğinde en iyi sonuçların alındığını açıklamışlardır (Şekil 2.13).

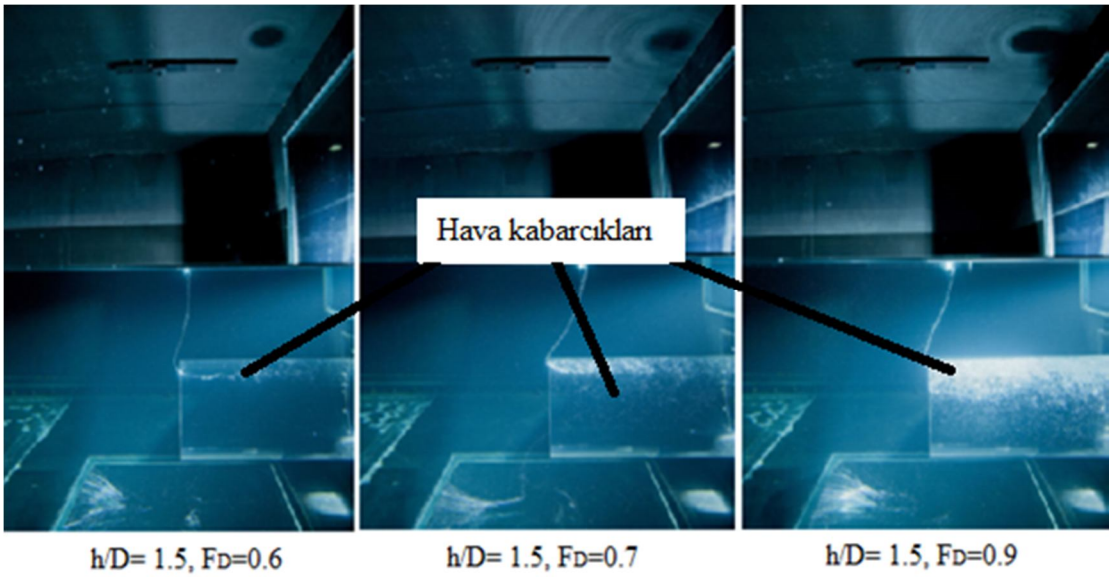


Şekil 2.13. Deneysel çalışma tankı



Şekil 2.14. Parçacık görüntüleme ve vektörel hız haritası alanı

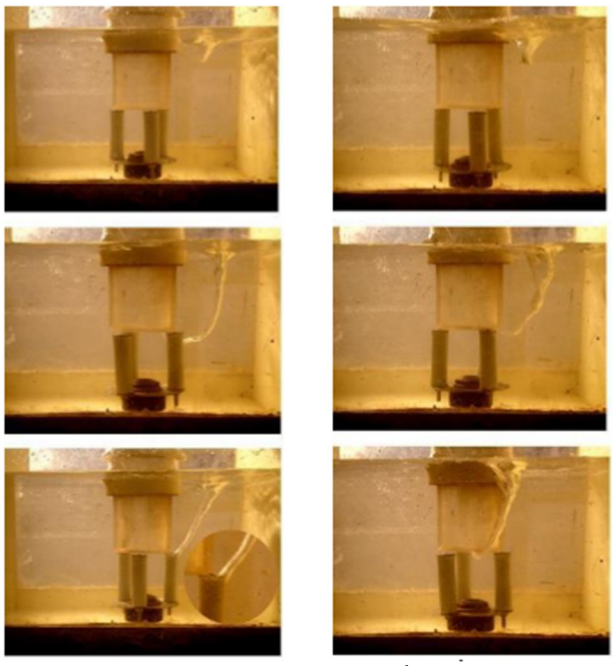
Ayrıca, Froude sayısı ve vorteks kuvveti artışını Şekil 2.15'de görüldüğü gibi elde etmiştir. Hava tutumunun Froude sayısının 0.6 değerinden daha düşük bir seviyesinde başladığını ve Froude sayısının 0.9 değerinde ise hava-çekirdeğinden ayrılan çok sayıda hava kabarcıklarının önemli bir sayıya ulaştığını belirtmiştir.



Şekil 2.15. Sabit h/D oranında farklı Froude sayılarında vorteks oluşumları

Ciocanea (2013), santrifüj pompaların emme odası içindeki vorteks hareketinin olumsuz etkisini azaltmak için bir yöntem geliştirmiştir. Deney düzeneğini emme

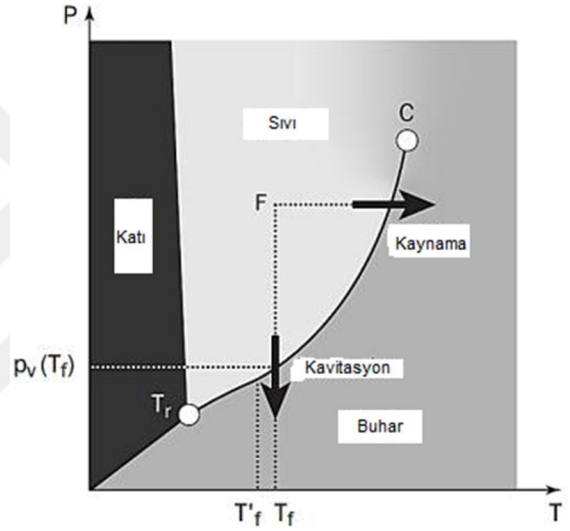
borusunun giriş bölümünün önüne yatay olarak yerleştirdiği döner disk üzerine, simetrik olarak monte ettiği üç ince dikey silindirden oluşturmuştur. Denemeleri üç silindirin değişik çaplarında, emme odasındaki farklı su seviyelerinde ve pompa akış hızlarında gerçekleştirmiştir. Araştırma sonucunda, emme odasındaki su seviyelerinin ve santrifüj pompa akış oranlarının %80-90'ı için vorteks kuvvetinde yaklaşık %12 ile %15 oranında bir düşüş gözlendiğini açıklamıştır. Vorteks oluşmaya başladığında, ölçüm setindeki silindirlerin hareketi nedeniyle vorteks modelinin başlangıç koşullarına (cihaz yok) kıyasla değiştiğini gözlemiştir. Düşük akış hızlarında vorteksin emme borusundan çekildiğini (Şekil 2.16 a), yüksek akış hızlarında ise vorteks yörüngesinin emme borusuna girene kadar arttığını açıklamıştır (Şekil 2.16b).



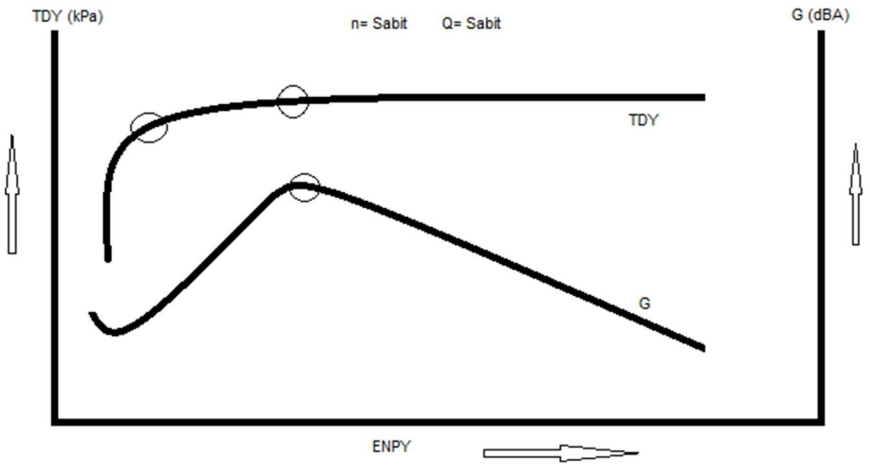
Şekil 2.16. Farklı silindir çaplarında 550 min^{-1} (a) ve 1550 min^{-1} (b) için vorteks gelişimi

Okoro (2013), vorteks oluşumuna, su derinliği ve zamanının etkisini belirlemek için deneysel testler yapmıştır. Oluşturduğu modelde 12 m uzunluğunda, 9 m genişliğinde ve 0.40 m derinliğinde bir tank ve farklı emme borusu boyutlarında santrifüj pompa bulunduğunu açıklamıştır. Araştırma sonucunda, pompanın tepki foksiyonunu 0.32 m su seviyesi olarak ölçmüş, düşük su derinliklerinde hava sürükleyici vorteks oluşumu esnasında emme yapısında oluşan yük kaybının ihmal edilebileceğini bildirmektedir.

Maxime ve Chen Li (2015), çalışmalarında santrifüj pompalarındaki kavitasyon olayını irdelemişlerdir. Kaynama noktası ile kavitasyon oluşumu ile ilgili p-T ilişkisini gösteren termodinamik faz değişimini Şekil 2.17'deki, sabit debi ve pompa hızında pompaların TDY ve gürültü seviyesinin ENPY ile değişimini ise Şekil 2.18' deki gibi bir değişim gösterdiğini belirtmişlerdir. Yazarlar sabit debi ve hızlarda TDY değerindeki %3 azalmaya karşılık, ENPY değerinin ENPYp olarak kabul edilebileceğini, ancak kavitasyon tahribatının %1 oranında azalarak başladığını vurgulamışlardır. Ayrıca gürültü seviyesinin kritik ENPY değerinin gürültü seviyesi ile ilişkilendirilebileceğini ifade etmişlerdir.



Şekil 2.17. Sıvılarda kaynama noktası ve kavitasyon ilişkisi



Şekil 2.18. Sabit debi ve işletme hızındaki bir pompanın TDY ve gürültü seviyesi değişimi

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Denemeler Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Prof. Dr. Şinasi YETKİN Tarım Makinaları Uygulama Atölyesinde, 13O140 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında yapılan Derin Kuyu Test Ünitesinde yapılmıştır (Şekil 3.1).



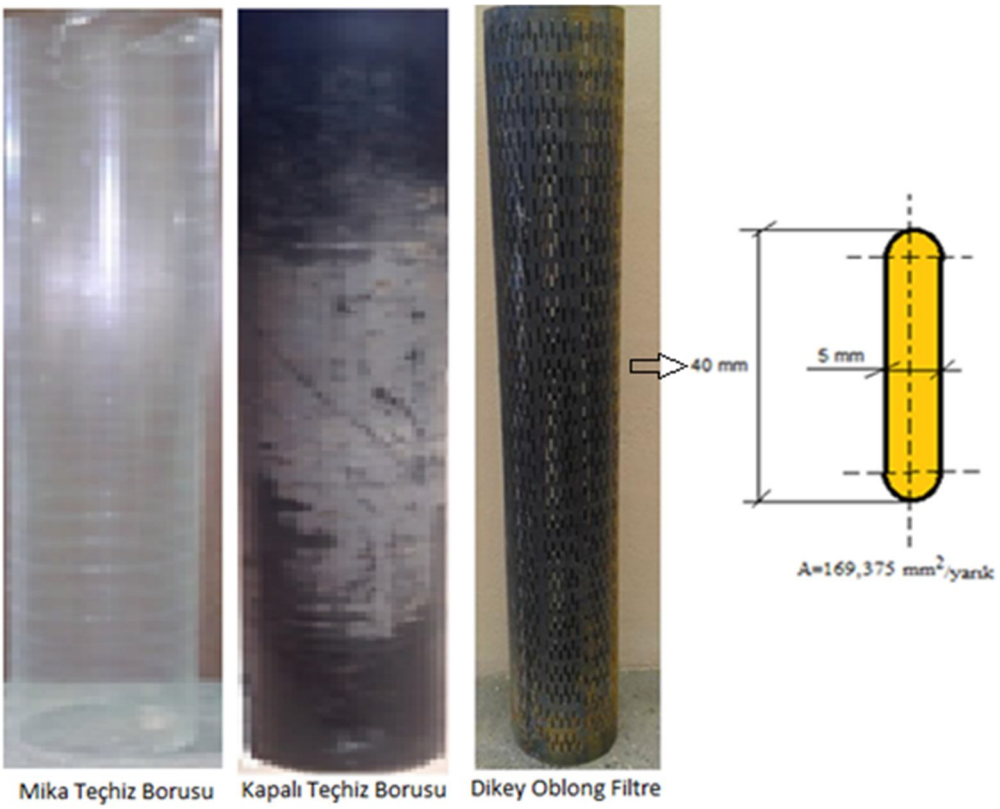
Şekil 3.1 Derin Kuyu Test Ünitesi

3.1.1. Kuyu donanımı

Kuyu donanımı kapalı ve dikey oblong filtreli tip teçhiz boruları, mika teçhiz boruları, filtreli boru boyunca çakıl zonu kalınlığında çakıl muhafaza borusu ve çakıl ile donatılmıştır. Kullanılan borularının bazı ölçü ve teknik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Kullanılan teçhiz borularının görünüşü Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Kuyu donanımında kullanılan borusulara ait bazı bazı teknik özellikler

Tip	İç çap (mm)	Et kalınlığı (mm)	Malzemesi	Uzunluğu (mm)	Sayısı (adet)	Birim ağırlık (kg/m)	Delik toplam alanı/Boru yüzey alanı oranı (%)
Kapalı Teçhiz Borusu	305	4.1	Sac/çelik	2000	2	35	-
Mika Teçhiz Borusu	292	4.0	Mika/Plexi	2000	2	7.5	-
Dikey Oblong/yarık	302	5	Sac	2000	1	30	9.3
Çakıl Muhafaza Borusu	498.5	3.2	Sac	2005	1	47.8	-



Şekil 3.2. Kapalı ve filtreli tip teçhiz borular ile oblong deliğin ölçüleri

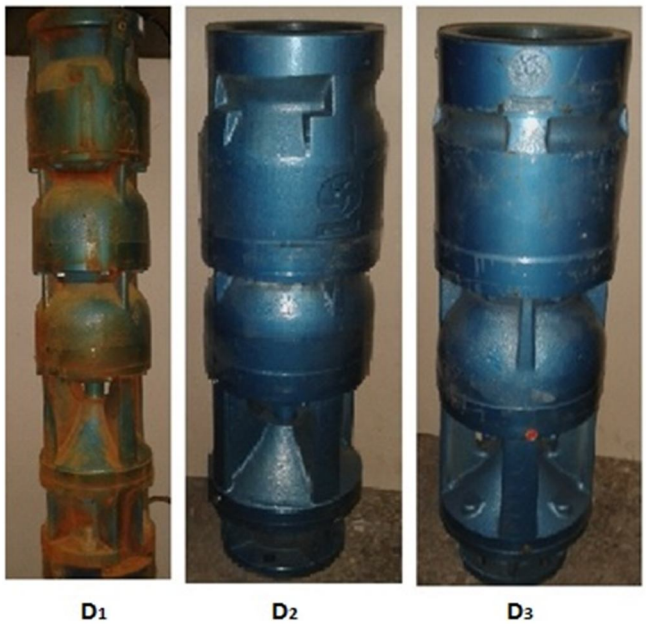
Kuyu donanımı için temiz ve yıkanmış çakıl kullanılmıştır. Çakıl yığını içinden rastgele seçilen 100 adet çakıl örneğinin ölçümleri yapılarak belirlenen bazı fiziksel özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir. Çizelge 3.2'nin incelenmesiyle çakılların uzunluğunun ortalama 19.6 mm, genişliğinin 14.3 mm, kalınlığının 9.10 mm, porozitesinin %44, küreselliğinin %70, doğal yığılma açısının 22.76^0 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca geometrik çap bakımından deneylerde kulanılan çakılın %76'sının 7-15 mm'lik aralıkta olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan çakılın bazı fiziksel özellikleri

Fiziksel özellik	**Ortalama değeri**
Hacim ağırlığı (kg dm^{-3})	1.54
Parçacık yoğunluğu (kg dm^{-3})	2.75
Porozite (%)	44
Parçacık genişliği (mm)	14.3
Parçacık uzunluğu (mm)	19.6
Parçacık kalınlığı (mm)	9.1
Parçacık eşdeğer geometrik çapı (mm)	13.5
Parçacık küreselliği (%)	70
Doğal yığılma açısı (°)	22.76
Metal yüzeyde statik sürtünme katsayısı (-)	0.419
Parçacıkların geometrik çap bakımından % frekans dağılımı	
7.68 mm (min.) -10.00 mm (%)	8
10.01 mm - 13.50 mm (%)	46
13.51 mm - 15.00 mm (%)	22
15.01 mm - 18.00 mm (%)	12
18.01 mm- 21.94 mm (%)	12

3.1.2. Deneylerde kullanılan dalgıç pompalar

Deneylerde kullanılan dalgıç tip derin kuyu pompalarının pompa grupları Şekil 3.3'de ve pompalara bazı teknik özellikler ise Çizelge 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan dalgıç pompaların pompa grupları

Çizelge 3.3. Dalgıç pompaların pompa gruplarına ait bazı teknik özellikleri ve ölçüleri

Teknik özellikler	**D_1**	**D_2**	**D_3**
Pompa dış çapı (mm)	152.4	177.8	203.2
Pompa gövde malzemesi (TSE EN 1591)	Pik	Pik	Pik
Pompa çark malzemesi	Pirinç	Pirinç	Pirinç
Pompa mil malzemesi	Paslanmaz çelik	Paslanmaz çelik	Paslanmaz çelik
Giriş kesit alanı (KA_2) (mm^2)	7200	9000	10800
Pompa mili çapı (mm)	25	25	30
Pompa kademe sayısı	2	1	1
Klerens açıklığı (mm)	4.5	4.5	4.5
Kanat sayısı (adet)	5	7	6
Kanat kalınlığı (mm)	5	5	5
Çark çıkış çapı (mm)	94.5	140	150
Çark çıkış genişliği (mm)	15	16	20

3.1.3. Denemelerde kullanılan dalgıç motorlar

Deneylerde kullanılan dalgıç motorlar ve motor kovanları (kılıfları) Şekil 3.4'de verilmiştir. Dalgıç pompalara ait bazı teknik özellikleri ise Çizelge 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3.4. Dalgıç motorlar ve motor kovanları (kılıfları)

Çizelge 3.4. Dalgıç motorlara ait bazı teknik özellikleri

Özellik	Dalgıç Motor I	Dalgıç Motor II
Marka	Suver	Watermot
Tip	Dalgıç	Dalgıç
Güç (kW)	4	5.5
Gerilim (V)	380	380
Akım şiddeti (A)	9.2	13.6
Devir sayısı (min^{-1})	2869	2780
Frekans (Hz)	50	50
Güç faktörü (cos ϕ)	0.86	0.84
Motor anma çapı mm (")	152.4 (6")	152.4 (6")
Motor mil çapı (mm)	25	25
Soğutma tipi	Su	Su
Kablo kesiti (mm^2)	3x2.5	3x2.5
Kablo uzunluğu (m)	10	10
Yol verme	Yıldız-üçgen	Yıldız-üçgen

Piyasada 5.5 kW gücünde 7" ve 8" anma çapında dalgıç motor bulunmamaktadır. Kovan/kılıf sadece motor II için kullanılmıştır, böylece motor II ile D_2 ve D_3 pompalarının tahrik edilmesi sağlanmıştır. Dalgıç pompalarda anma çapı, pompa ve motor grubunun maksimum çapına göre tanımlanmaktadır. Bu nedenle 7" anma çapındaki D_2 dalgıç pompası için 7" anma çapında motor, 8" anma çapındaki D_3 dalgıç pompası için de 8" anma çapında motor gerekmektedir. Bu yüzden D_2 pompasının tahrik edilmesinde motor II'ye 7" lik kovan ve D_3 pompanın tahrik edilmesinde ise motor II'ye 8" lik kovan geçirilerek deneyler yürütülmüştür. D_1 pompasının deneylerinde motor I kovansız olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada pompa kademe sayısı minimum tutulduğundan dolayı küçük güçlü, dolayısıyla küçük anma çapındaki dalgıç motorlar güç gereksinimi bakımından yeterli görülmüştür. Kovanlar sadece anma çapının eşitlenmesinde kullanılmıştır.

3.1.4. Dalgıç pompa kolon grubu

Deneylerde dalgıç pompaların çalıştırılmasında kullanılan kolon grubu boru ve manşonların bazı teknik ölçüleri Çizelge 3.5'de gösterilmiştir. Bu kolon grubu boru ve manşonların görünüşleri Şekil 3.5'de verilmiştir. Dalgıç pompaların tüm deney kombinasyonlarında 2000 mm uzunluğunda bir adet kolon borusu kullanılmıştır.

Çizelge 3.5. Dalgıç pompalara ait kolon borusu ve manşonlarına ait bazı teknik özellikleri

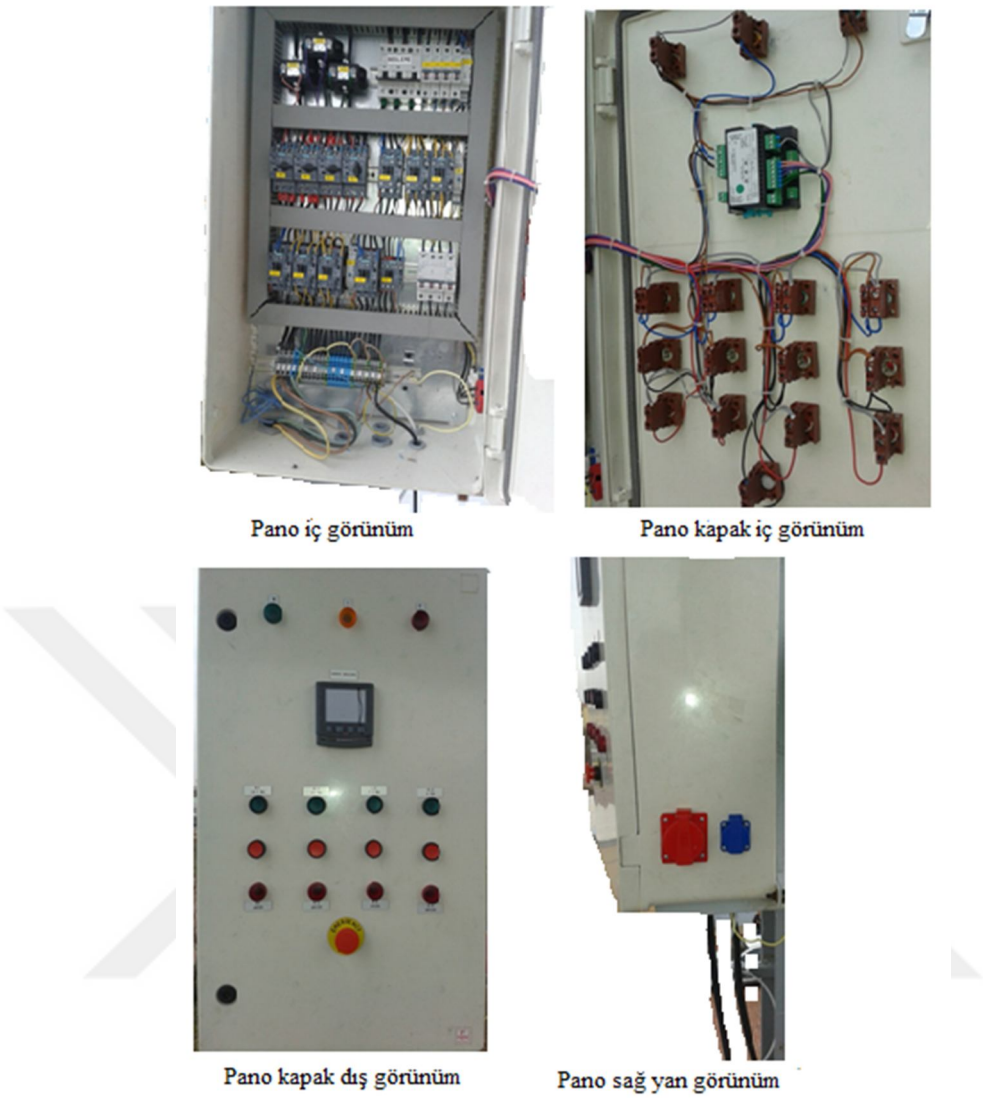
Kolon boruları				
İç çapı (mm)	**Et kalınlığı (mm)**	**Uzunluğu (mm)**	**Malzemesi**	**Sayısı (adet)**
78	4	2000	Çelik (Ç1050)	1
105	4	2000	Çelik (Ç1050)	1
128	5	2000	Çelik (Ç1050)	1
Kolon borusu manşonları				
İç çapı (mm)	**Et kalınlığı (mm)**	**Uzunluğu (mm)**	**Malzemesi**	**Sayısı (adet)**
85	7	110	Çelik (Ç1050)	1
110	10	105	Çelik (Ç1050)	1
135	10	105	Çelik (Ç1050)	1



Şekil 3.5. Dalgıç pompa kolon borusu ve manşonlarının fotoğrafları

3.1.5. Elektrik panosu

Deney setinde elektrik kumanda panosu yer almaktadır. Pano, 4 farklı güçte elektrik motoru için 4 ayrı termik koruma çıkışına sahiptir. Pano, 380 V ve 220 V olmak üzere iki priz içermektedir. Pano, motor gücü büyüklüğüne göre direkt ve yıldız-üçgen yol verebilmektedir. Pano üzerinde şebekeden çekilen gücü ve güç bileşenlerini ölçen dijital bir güç analizörü bulunmaktadır. Güç analizörü, üzerinden çıkış sinyali alınarak veri aktarılmasına uygun özelliktedir. Kumanda panosunun montaj edildiği durumdaki görünüşü Şekil 3.6 da verilmiştir.

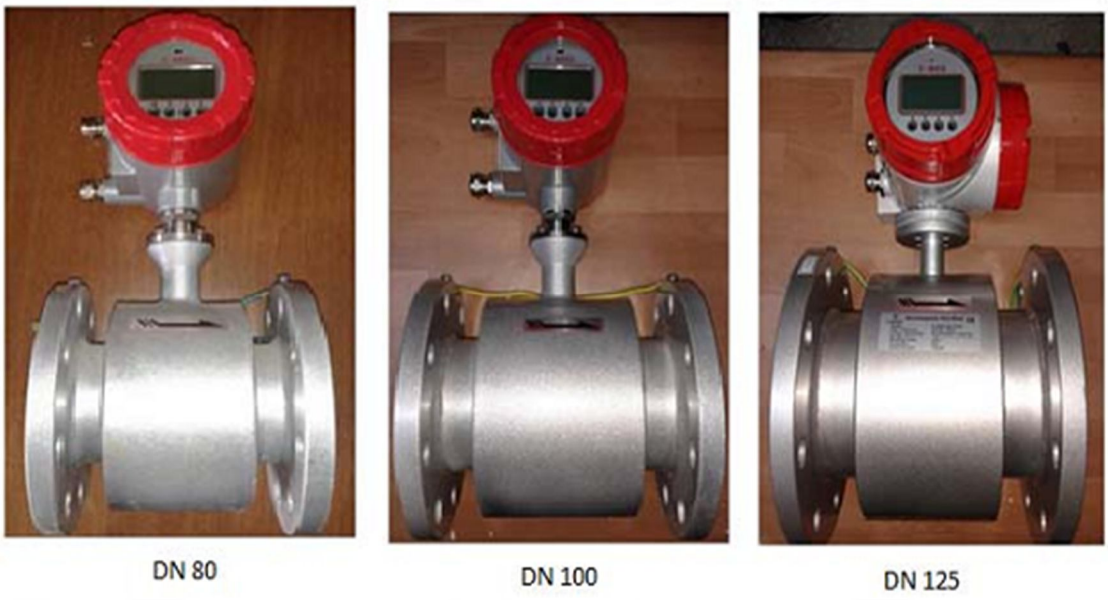


Şekil 3.6. Elektrik kumanda panosunun değişik yönlerden görünüşü

3.1.6. Deneylerde kullanılan ölçme cihazlarının bazı teknik özellikleri

3.1.6.1. Debimetreler

Deneylerde üç adet elektromanyetik debimetre kullanılmıştır (Şekil 3.7). Bu dijital göstergeli debimetreler ölçüm yapılan boruya flanşla bağlanmıştır. Bu debimetrelere ait bazı teknik özellikler Çizelge 3.6' da verilmiştir.



Şekil 3.7. Elektro manyetik debimetre fotoğrafları

Çizelge 3.6. Elektromanyetik debimetrelere ait bazı teknik özellikler

Özellikler	**(DN80)**	**(DN100)**	**(DN125)**
Model	S-MAG 100	S-MAG 100	S-MAG 100-0125
Çalışma debisi ($m^3\ h^{-1}$)	1-180	1-280	1-440
Çalışma basıncı (bar)	16	16	16
Çalışma sıcaklığı (^oC)	-10/60	-10/60	-10/60
Ölçüm hatası (%)	0.5	0.5	0.5

3.1.6.2. Pozitif basınç ölçer (Manometre)

Pompa çıkış basıncının ölçülmesinde kullanılan dijital göstergeli basınç sensörüne ait bazı teknik özellikler Çizelge 3.7'de, basınç sensörünün fotoğrafı ise Şekil 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Dijital göstergeli basınç sensörüne ait bazı teknik özelikler

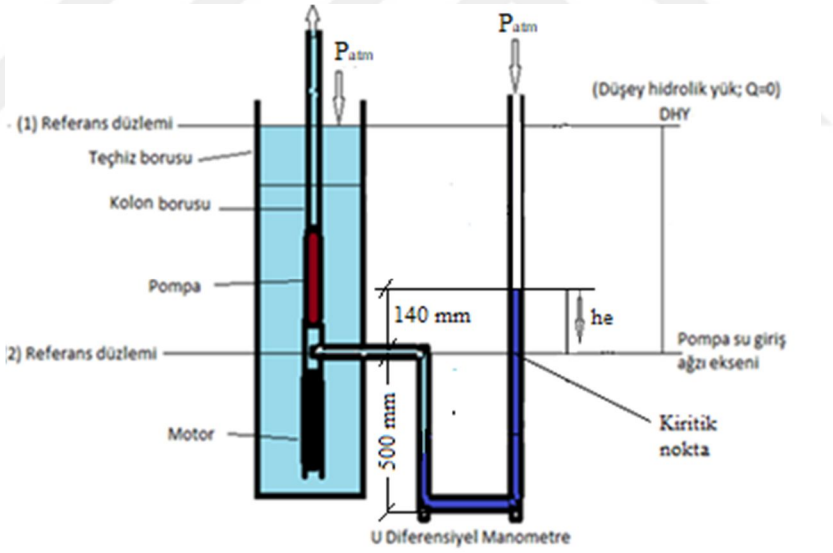
Markası	WİKA
Montaj tipi	Alttan bağlantılı
Ölçü aralığı (bar)	0 – 10
Ölçü birimi ayarı	Bar / kPa/ psi
Bağlantı ölçüsü	G 1/4'' B
Ortam sıcaklığı (°C)	- 20 ... + 80
Akışkan sıcaklığı (°C)	Maksimum + 60
Hassasiyet sınıfı (%)	1.6



Şekil 3.8. Dijital göstergeli basınç sensörü

3.1.6.3. Negatif basınc ölçer (Vakummetre)

Derin kuyu pompalarının negatif basıncı (vakum) emiş ağzı alt adaptörüne yerleştirilen cıvalı bir U diferansiyel basınc ölçer ile ölçülmüştür. U diferansiyel basınçölçer için 6 mm çapında, 2 m uzunluğunda şeffaf hortum ve 200 g cıva kullanılmıştır. Negatif basınc ölçerin bağlantısı Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. U Diferansiyel tipi negatif basınç ölçerin pompa bağlantısı

3.1.6.4. Güç analizörü

Çalışmada kullanılan güç analizörüne ait bazı teknik ölçü ve özellikler Çizelge 3.8'de gösterilmiştir. Şekil 3.10'da ise güç analizörünün görünüşü verilmiştir.

Çizelge 3.8. Güç analizörüne ait bazı teknik özellikleri

Markası	KAEL
Modeli	Multiser 05-PC-TFT
Ölçüm çeşitleri	Güç, voltaj, çekilen akım ve güç faktörü (cos Φ)
Ölçü birimi	kW
Ölçü aralığı	4 - 7.5 - 11 – 18.5 kW
Gösterge	Dijital

Güç analizörü ayrıca kumanda panosuna monte edilebilir, hafıza kartlı, sinyal verebilir ve bilgisayara uyumlu özellikte yazılıma sahiptir.



Şekil 3.10. Dijital göstergeli güç analizörü

3.1.6.5. Hız (Akış) ölçerler

Çalışmada iki adet hız ölçme sensörü kullanılmıştır. Bunların iki tanesi de kanatlı/türbinli daldırma tip hız ölçerleridir (Şekil 3.11). Hız ölçerlere ait bazı teknik özellikler Çizelge 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.11. Hız ölçme sensörleri

Çizelge 3.9. Hız ölçme sensörlerine ait bazı teknik özellikler

Özellikler	**Türbin/Kanatlı**
Markası	FLS
Modeli	F3.00
Ölçü aralığı	0.1 - 8 m s^{-1}
Bağlantısı	DN250-600
Doğruluk	± %0.75
Akım ihtiyacı	<30 mA
Çıkış frekansı	m s^{-1} başına 45 Hz
Çıkış tipi	Puls
Besleme gerilimi	12-24 V DC
Maksimum sıcaklık	60 °C
Maksimum basınç	16 bar
Koruma sınıfı	IP68

3.1.6.6. Sıcaklık ölçerler

Çalışmada hem ortam sıcaklığı hem de teçhiz borusundaki su sıcaklıkları ayrı ayrı ölçülmüştür. Çizelge 3.10' da ortamın sıcaklığını ölçen sıcaklık sensörüne ait bazı teknik ölçü ve özellikler gösterilmiştir. Şekil 3.12' de ise sensörün görünüşü verilmiştir.

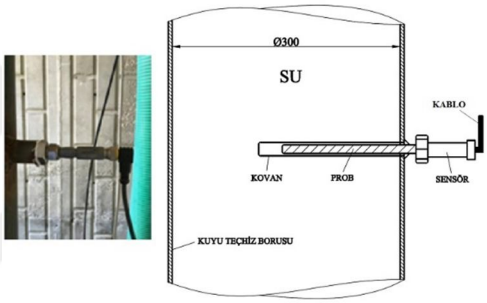


Şekil 3.12. Ortam sıcaklığı ölçen sensörün görünüşü

Çizelge 3.10. Ortam sıcaklığını ölçen sensöre ait bazı teknik özellikleri

Marka	TURCK Medium contact
Ölçme aralığı (C)	-50 ve + 150
Prob tipi	Pt-1000 sınıf A
Prob çapı (mm)	3
Prob uzunluğu (mm)	24
Çıkış sinyali	Analog - 4…20 mA
Besleme gerilimi	10- 24 VDC
Bağlantı şekli	Vidalı
Tasarım	Göstergesiz

Su sıcaklığı sensörünün teknik özellikler Çizelge 3.10'da verilen ortam sıcaklığı sersörü ile aynı olup sadece prob çapı ve uzunluğu farklıdır. Su sıcaklığı ölçerinin prob çapı ve uzunluğu sırasıyla 6 mm ve 150 mm'dir (Şekil 3.13). Sıcaklık sensörü, teçhiz borusu içine sabitlenen metal bir kovan içinde bulunmaktadır.



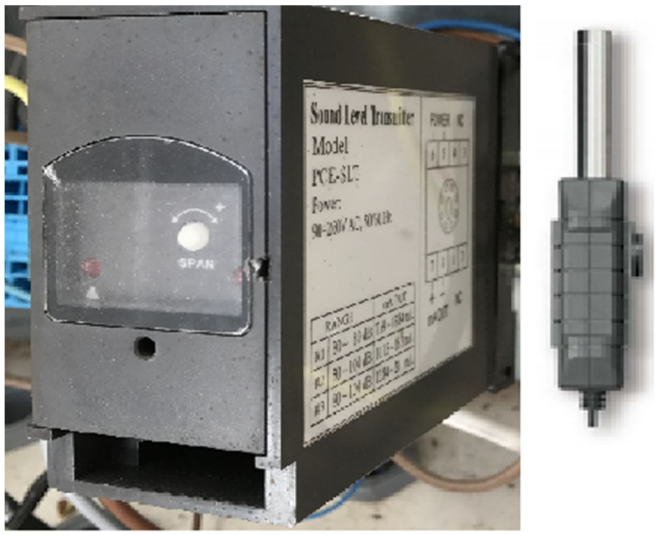
Şekil 3.13. Su sıcaklığı sensörü

3.1.6.7. Gürültü seviye ölçer

Çalışmada kullanılan gürültü seviye ölçerin indikatör ve probunun bazı teknik özellikleri Çizelge 3.11 'de fotoğrafları ise Şekil 3.14'de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Gürültü seviye ölçerinin indikatörün ve probun bazı teknik özellikleri

	İndikatör
Marka Model	Lutron PCE-SLT
Güç kaynağı	DC 24 V
Gösterge	Dijital 4 Rakam
Giriş sinyali (mA)	4-20
Doğruluk	± (0,15% + 2d)
Cevap süresi (s)	1
	Prob
Model	TR-SLT1A4
Ölçüm aralığı	30-80 dB, 50-100 dB, 80-130 dB
Çıkış sinyali (mA)	4-20
Güç gereksinimi	90-260 ACV, 50 Hz/ 60 Hz
Çalışma sıcaklığı (^{o}C)	0-50
Muhafaza	ABS plastik



Şekil 3.14. Gürültü seviyesi indikatörü ve probun görünümü

3.1.6.8. Bağıl nem ölçer

Çizelge 3.12'de ortamın sıcaklığını ve bağıl nemini kombine olarak ölçebilen cihaza ait bazı teknik ölçüler, Şekil 3.15'de ise cihazın görünüşü verilmiştir.

Çizelge 3.12. Ortam sıcaklığı ve bağıl nemölçere ait bazı teknik özellikleri

Marka	Hydrotermometer
Tip	PCE 330
Ölçüm aralığı	0 – 100% rh-30 ile 100^0 C
Hassasiyet	±2.0% r.h.±0.5°C
Batarya	9V (PP3)
Ağırlık	200 gr



Şekil 3.15. Dijital ortam sıcaklığı ve bağıl nem ölçer

3.1.6.9. Seviye ölçer

Deneyler sırasında kuyu içindeki su sevilerini ölçmek için kuyu teçhiz borusu içinden seviye ölçmek için kablonun ucuna bağlı probtan ve şeritmetreden faydalanılmıştır. Bu proba ait bazı teknik özellikler ile kullanılan kablonun görünüşü Çizelge 3.13 ve Şekil 3.16' da verilmiştir.

Çizelge 3.13. Derin kuyu seviye ölçme cihazının bazı teknik özellikleri

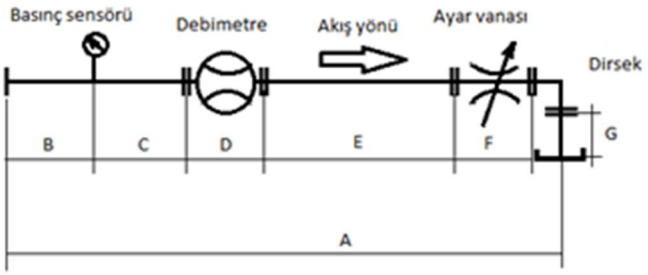
Markası	Hydrotechnik
Tipi	010 tip/1.5 V
Ölçü aralığı	0 – 150 m
Ölçü birimi	Metre
Ölçü uyarısı	Ses ve ışık ikazlı
Sensör prob çapı	15 mm
Sensör prob uzunluğu	200 mm



Şekil 3.16. Derin kuyu seviye ölçme cihazı

3.1.6.10. Ölçme boruları

Deney düzeneğinde 3", 4" ve 5" anma çapındaki dalgıç pompaların, su çıkışının yapıldığı çıkış borusuna pozitif basınç sensörü, debimetre ve ayar vanası bağlanmıştır. Bağlantılar flanşla yapılmış olup, sızdırmazlık O-ringler ile sağlanmıştır. Bu çıkış borusu bir dirsek ve kısa boru ile depoya yönlendirilmiştir. Üç ayrı büyüklükteki ölçme borusuna ait boyutlar Şekil 3.17'de verilmiştir. Debimetrelerin montajı esnasında öncesinde ve sonrasındaki düz boru mesafesi sırasıyla ölçme borusu çapının 5 katı ve 3 katı dikkate alınarak yerleştirilmeye çalışılmıştır.



Ölçme borusu anma çapı (")	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	Toplam ağırlık (kg)
3	1602	338	377	195	367	175	200	59
4	1530	360	130	250	350	290	300	90
5	1440	250	245	250	230	315	300	133

Şekil 3.17. Ölçme borusu boyutları

3.1.6.11. Kameralar

Pompaj sırasında kuyu içindeki değişik nokta ve eksenlerden video görüntüsü alabilmek için kullanılan kameraların bazı teknik özellikleri Çizelge 3.14'de, bu kameraların fotoğrafları da Şekil 3.22' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.14. Çalışmada kullanılan kameraların bazı teknik özellikleri

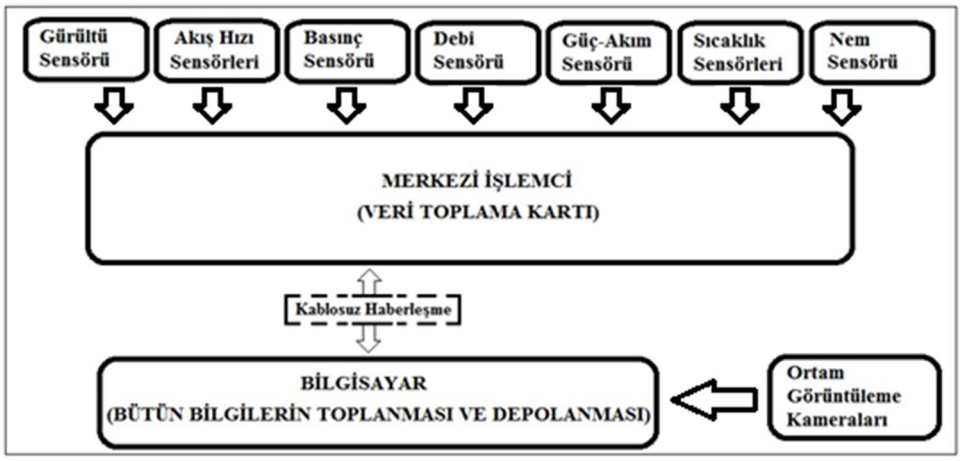
K_1 kamerası (Radyal yönde ve teçhiz borusu dışından)	**K_2 kamerası (Eksenel yönde ve teçhiz borusu içinden)**
1080p HD Sensör	15.0 mega piksel
720p HD video yüksek hassasiyetli cam elemanı objektif keskin görüntü kalitesi sağlama	Full HD görüntü kaydı (maksimum 1920 X 1080 piksel)
Yüz izleme ile True Color Teknolojisi	H.264 görüntü sıkıştırma
Otomatik olarak parlak ve renkli görüntü için poz kontrol eder	Otomatik gürültü azaltma teknolojisine sahip çift stereo mikrofon
Birinci sınıf bir ses kaydı için geniş bant mikrofon	Otomatik olarak zayıf ışığı düzeltme özelliği
Otomatik netleme	Yatay kaydırma, eğme ve yakınlaştırma denetimleri



Şekil 3. 17. Çalışmada kullanılan kameralar

3.1.6.12. Yazılım ve otomasyon donanımı

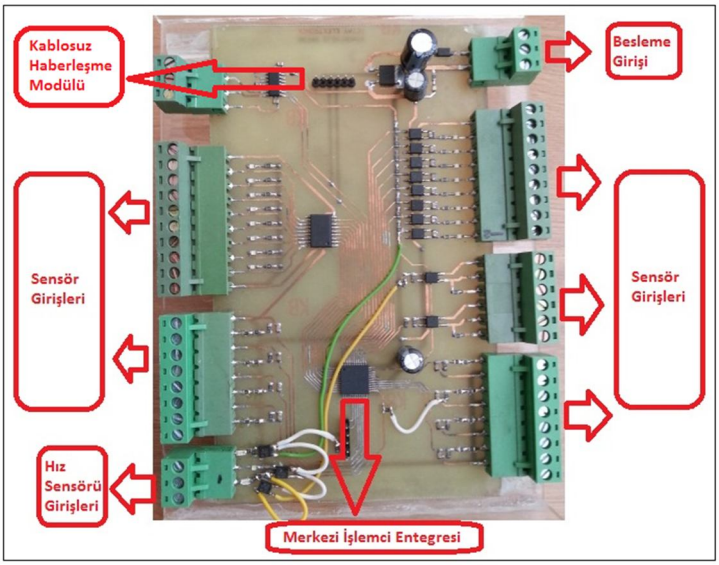
Denemelerde debi, pozitif basınç, şebekeden çekilen güç, akım şiddeti, hız, gürültü, sıcaklıklar ve görüntü gibi fiziksel büyüklük değerlerinin kaydedilmesi için yazılım ve otomasyon sistemi geliştirilmiştir. Bu sisteminin blok diyagramı Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.18. Otomasyon sisteminin blok diyagramı

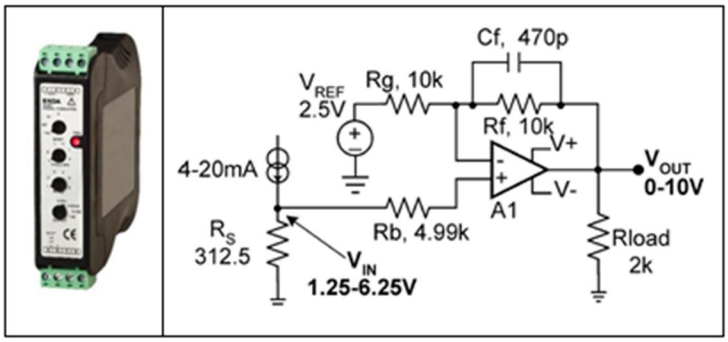
Blok diyagramında da görüldüğü gibi sistemde bulunan sensörlerlerden alınan bilgiler, merkezi veri toplama kartı üzerinden kablosuz (Bluetooth) olarak bilgisayara aktarılmaktadır.

Sistemde kullanılan basınç, debi, sıcaklık, gürültü gibi sensörlerden elde edilen veriler, 4-20 mA'lik analog bilgi değerleridir. Güç analizöründen, güç ve akım şiddeti değerlerini ölçmek için gelen veriler ise 0-10 volt'luk analog bilgilerdir. Akış hızı sensörlerinden alınan çıkış darbe (puls) değerleri ise dijital bilgi verileridir. Bütün bu analog ve dijital veriler Şekil 3.18'deki blok diyagramı üzerinde merkezi işlemci (Çizelge 3.15) olarak adlandırılan veri toplama kartına kablolu olarak aktarılmakta ve tamamen sayısal bilgi olarak hafıza adreslerinde depolanmaktadır. Bu veri toplama kartının, sistem üzerinde kullanılan veri toplama kartı Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Otomasyon sisteminin içerisinde kullanılan veri toplama kartı

Şekil 3.19'da verilen kart üzerinde sekiz ayrı analog 0-10 volt sensör verisi girişine ve üç adet akış hız sensörlerinden gelen darbe (puls) verisi girişine uygundur. Bazı sensörlerden gelen 4-20 mA'lik analog bilgiler, veri toplama kartının girişine uygun olarak 0-10 volt analog veri üretecek şekilde dönüştürülmüşlerdir. Şekil 3.20'de kullanılan dönüştürücü ve elektronik devresi verilmiştir.



Şekil 3.20. 4-20 mA'den 0-10 volt'a dönüştürücü dış görünüşü (a) ve elektronik devresi

Çizelge 3.15. PIC18F4550 (Microchip) entegresinin bazı teknik özellikleri

USB 2.0 uyumlu
Low Speed (1.5Mb/s) ve Full Speed (12Mb/s) hızlarını desteklemekte
Kontrol, kesme, İzokron ve yığın transferleri desteklemekte
32 Adet uç noktası vardır (Çift yönlü 16 adet)
1KB USB RAM belleği (Dual Access)
Dahili voltaj regülatörü
Dahili Pull-Up dirençleri
2KB'lık RAM alanına sahip
Programlanabilir 33 pine sahip

Deney kurulumu üzerinde bulunan bütün sensörlerden alınan bilgiler, veri toplama kartı aracılığı ile hem kablolu (USB portu ile) hem de kablosuz (bluetooth-HC05 modulü ile) olarak bilgisayara aktarılabilmektedir. Kablosuz haberleşme modülü, toplanan sensör verilerinin, 10 metreye kadar bilgisayar ve benzeri cihazlara kablosuz olarak gönderebilmesine olanak sağlamaktadır. Veri toplama kartından alınan bilgiler, bilgisayarda hazırlanan ve Şekil 3.21'de ara yüzü gösterilen yazılım aracılığı ile operatör tarafından istenilen aralıklarda uygun isimlerle kayıt edilebilmektedir.



Şekil 3.21. Bilgisayar yazılım ara yüz paneli

Ara yüzü gösterilen bilgisayar programı, Visual C# isimli yazılım kullanılarak yapılmıştır. Bu programda "sensör kontrolü" ve "kamera kontrolü" olmak üzere iki ayrı kontrol bölmesi bulunmaktadır. Kaydedilmek istenen verilerin olduğu kontrol bölümü "Aç" butonuna basılarak açılır ve o bölümde gösterilen veriler, verilen "Dosya ismi"'ne ve istenen "Değer Sayısı"'na uygun olarak otomatik olarak kaydedilirler. Bu oluşturulan otomasyon sistemi sayesinde çalışmaların hızlı bir şekilde ilerlemesi sağlanırken aynı zamanda verilerinde düzenli bir şekilde ve ilerde değerlendirilmek üzere depolanması sağlanmıştır. Veriler Excel, görüntüler ise video olarak depolanmaktadır. Sistem için tasarlanan otomasyon sisteminin çalışması başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

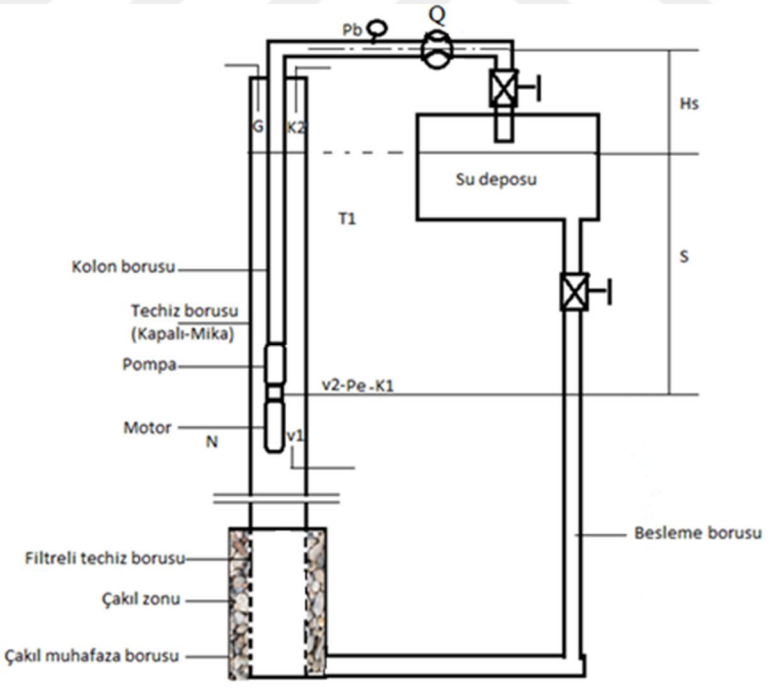
3.2. Yöntem

3.2.1. Kuyu donanımı ve pompa seçimi

Kuyu donanımı ve pompa büyüklüklerinin seçiminde uygulamada yaygın olarak bulunan kuyu boyutları ve pompa güçleri esas alınmıştır.

3.2.2. Cihazların kuyu donanımı içindeki yerleşimi

Denemeler esnasında, su akış hızı iki noktadan (v_1, v_2) debi (Q), pozitif basınç (P_b), negatif basınç (P_e), gürültü seviyesi (G), şebekeden çekilen güç (N), su sıcaklığı (T_1), dış ortam sıcaklığı (T_2) ve bağıl nem (BN) için yerleştirilen sensörlerin yerleri Şekil 3.27'de gösterilmiştir. Ayrıca üç noktadan görüntü alan kameraların (K_1 ve K_2) yerleride görülmektedir. Bu sensörlerden geliştirilen yazılımla sistemin veri ve görüntüleri alınmaktadır. Diğer yandan dış ortam bağıl nemi (BN), seviye ölçümleri (H) ve negatif basınç (P_e) değerleri de manuel olarak sisteme girilmiştir.

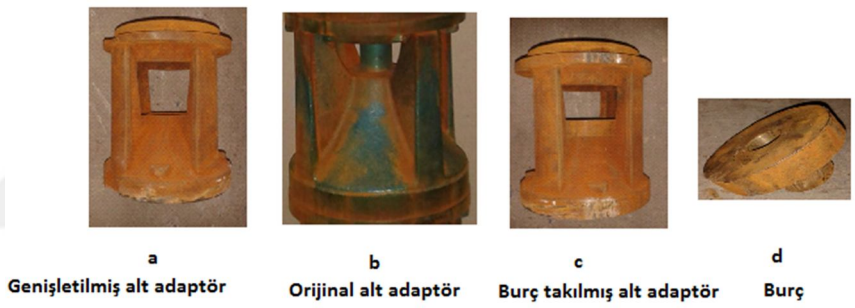


Şekil 3.22. Sensörler ve kameraların deney düzeneğindeki yerleşim noktaları

3.2.3. Deney kombinasyonları

Dalgıç pompaların anma çapları (D_1, D_2 ve D_3) üç seviyede seçilmiştir. Bu pompaların anma çapları sırasıyla 150 mm (6"), 175 mm (7") ve 200 mm (8") değerindedir. Dalgıç pompaların anma çaplarının belirlenmesinde pompa veya motor grubunun maksimum çapı esas alınmıştır. Ayrıca D_1, D_2 ve D_3 dalgıç pompalarının çıkış (kolon) borusu çapları sırasıyla 75 mm (3"), 100 mm (4") ve 125 mm (5") olarak seçilmiştir.

Dalgıç pompalarının her bir anma çapı için üç ayrı pompa giriş ağzı kesit alanında çalışılmıştır (KA_1, KA_2 ve KA_3). Pompaların orijinal giriş ağzı kesit alanına ek olarak, kest alanını büyütmek için alt adaptör kullanılmıştır. Bu adaptöre geçirilen burç yardımıyla küçük kesit elde edilmiştir (Şekil 3.23). Çizelge 3.16'da kesit alanlarının büyüklükleri verilmiştir.



Şekil 3.23. Pompaların alt adaptörlerinde giriş ağzı kesit alanı değiştirme burcu

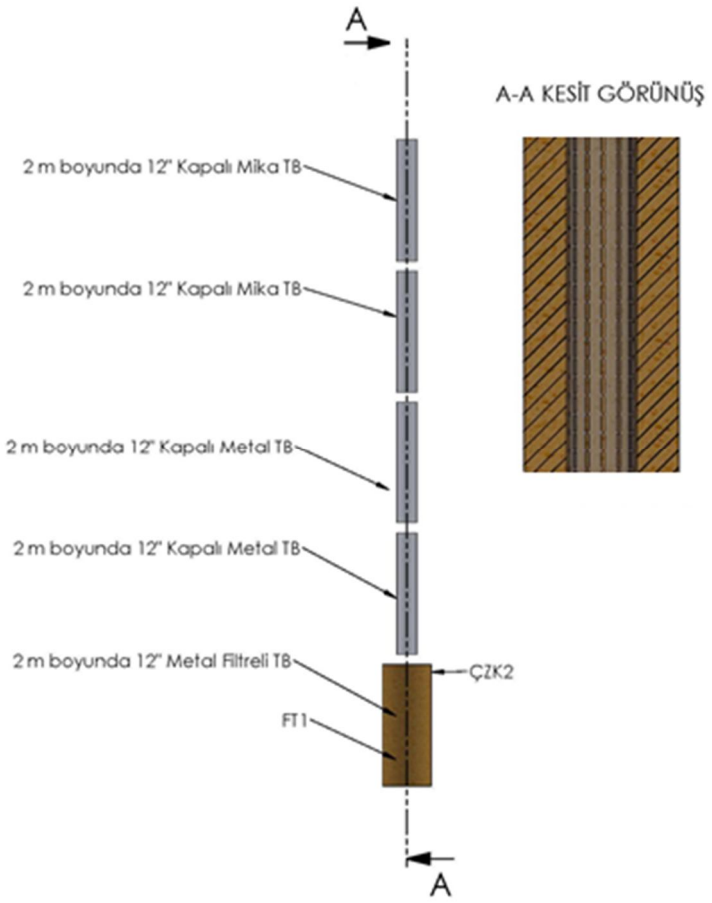
Çizelge 3.16. Pompalar ve pompa giriş kesit alanları (mm^2)

Pompalar	**KA_1 (%20 küçük)**	**KA_2 (Orijinal)**	**KA_3 (%20 büyük)**
D_1	3800	4800	5800
D_2	7200	9000	10800
D_3	13500	16800	20000

Dalgıç pompalarında farklı kesit alanları, pompanın alt adaptörlerine, kesit şekli bozulmaksızın müdahale edilerek hazırlanmıştır. Pompaların, farklı her bir anma çapı için birer adet (toplam 6 adet) alt adaptör temin edilmiştir. Bunlardan birer tanesi her bir pompa için orijinal kesit alanına sahip (KA_2) alt adaptör olarak kullanılmıştır. Diğer her bir alt adaptör, pompa anma çapı için orijinal kesit alanına göre %20 daha büyük kesit alanı oluşturacak şekilde genişletilerek KA_3 ölçülerinde elde edilmiştir. Diğer taraftan yine her anma çapına göre genişletilmiş pompa alt adaptörü için orijinal kesit alanına

göre %20 daha küçük kesit alanı oluşturacak şekilde işlenen sökülebilir bir burç yapılmış KA_1 ölçüsü elde edilmiştir.

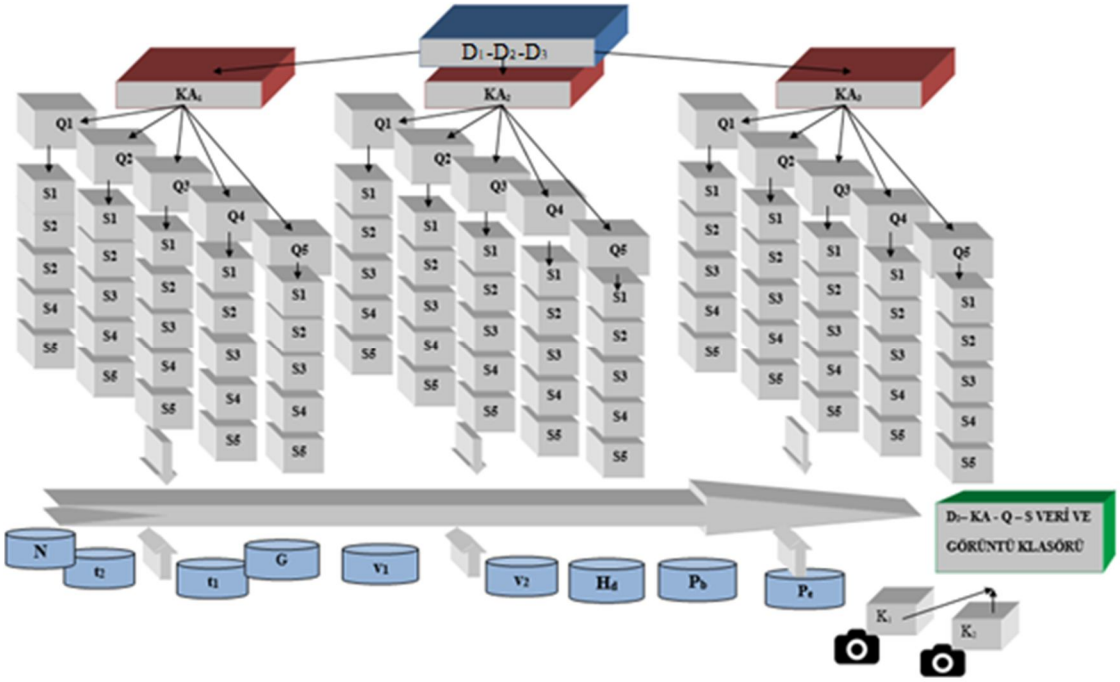
Denemelerde kuyu donanımı filtre uzunluğu 2 m, dikey oblong filtre ve 100 mm kalınlığında çakıl zonu kullanılmıştır (Şekil 3.24). Her iki pompa denemelerinde besleme borusunun (4" ve 6") vanaları tam açık oldukları durumda yapılmıştır.



Şekil 3.24. Denemeler esnasında kullanılan kuyu donanımı

3.2.4. Deneme planı ve deneylerin yürütülmesi

Denemelerin her bir pompanın ve bir pompa besleme ağzı giriş alanı için oluşturulan deneme planları Şekil 3.25'de verilmiştir.



Şekil 3.25. D_1, D_2 ve D_3 dalgıç pompasında kesit ağzı alanı deneme deseni

Deneylerin her aşamasında, iş güvenliği ve emniyeti kuralları dikkat edilmesi amaçlanmıştır. Pompa çalıştırılmadan önce tüm mekanik, hidrolik ve elektriksel bağlantıların kontrolü yapılmıştır. Kuyu besleme borusu ve pompa çıkış borusu üzerinde bulunan ayar vanalarının tam açık olması sağlanmış, hidrolik düşey yük ve statik seviye ölçülmüştür. Pompa çalıştırılarak, pompa ve kolon borusu bağlantılarından su kaçaklarının olup olmadığı gözlenmiştir. Bunun için pompa çıkış borusu ayar vanası kısılarak su kaçaklarının yüksek basınçlardaki durumu da gözlenmiştir. Pompa bağlantılarında su kaçağının tespit edilmesi durumunda pompa sökülerek gerekli sızdırmazlık sağlanmıştır. Kuyunun üst donanımında kullanılan teçhiz borusunun mika malzeme olması bu tür sızdırmazlıkların gözlenmesine imkân sağlamaktadır. Benzer şekilde mekanik titreşim ve sürtünme gibi anormal seslerin olup olmadığı gözlenmiş ve oluşan problemler giderilmiştir. Her deney kombinasyonunda ölçme ve kayıtlama işlemi için kuyu içindeki su akışının kararlı hale gelmesi beklenmiş, elektromanyetik debimetre ve dijital göstergeli basınç ölçer gibi cihazların göstergelerinin kararlı hale gelmesi ve kuyu içindeki su dalgalanmalarının durgunlaşmış ya da çok azalmış olması gerekmektedir. Akışın kararlı hale gelmesi için her bir deney kombinasyonu için ortalama olarak 10-15 dakika kadar beklenilmiştir. Kumanda merkezindeki kişinin kayıt

merkezindeki kişiyi kaydı başlatabileceğini söylemesi ile kayıtlama başlatılmaktadır (Anonim, 2002; Anonim, 2014).

3.2.5. Verilerin ve görüntülerin kayıtlanması

Araştırmada, her bir vana açıklığında birer saniye aralıkla 35 ile 50 adet veri alınmıştır. Excel kaydı her saniyede ölçülen verileri bir satıra kaydetmekte olup tek bir kombinasyonda ölçülen veriler 35 ile 50 satır oluşturmaktadır. Ölçme süresince ve eş zaman aralığında her bir kameranın video görüntüleri de kayıtlanmıştır. İki farklı kameranın görüntü kayıtları aynı kodla ancak farklı indisle kaydedilmiştir.

3.2.6. Ölçülen fiziksel büyüklükler

Ölçülen fiziksel büyüklükler için kullanılan sensör ve cihazların bağlantı koşulları ilgili standartlara ve literatüre göre yapılmıştır (Karassik ve ark., 1986; Anonim, 2002; Değer, 2005).

Debi ve pompa çıkış basıncı ölçme borusuna yerleştirilen elektromanyetik debimetre ve dijital göstergeli basınç sensörü yardımıyla ölçülmüş veriler otomatik olarak kaydedilmiştir.

3.2.6.1. Pompa emiş basıncı

Pompa emiş basıncı, pompa giriş ağzına monte edilen cıvalı U diferansiyel monometre ile belirlenmiş ve kayıtlanmıştır. Şekil 3.13 incelendiğinde pompa çalışmazken pompa emiş basıncı yüksekliği (he_1) sıfır değerindedir. Çünkü 1. Referans Düzlemi ile manometre kolundaki cıva yüksekliği arasında fark yoktur. Bu durumda pompa emiş ağzı pozitif yük altında olup, yük düşey hidrolik yüke eşittir. Pompa çalıştırılıp debi çekilmeye başlayınca, manometre kolundaki cıva yüksekliği aşağı doğru hareket etmekte ve he_1 değeri artmaktadır. Bu durumda her bir deney kombinasyonu için he_1 yüksekliği metre ile mm olarak, en az üç tekerrürlü ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Ölçülen he_1 değeri dikkate alınarak pompanın emiş ağzı basıncına aşağıdaki eşitlik yardımıyla dönüştürülmüştür.

$P_e = [\rho * g * (h_{e1}/100)]/1000$ (kPa) (3.1)

3.2.6.2. Şebekeden çekilen güç

Şebekeden çekilen elektriksel güç, dijital göstergeli güç analizörü ile kW birimiyle ölçülmüş ve otomatik olarak kayıtlanmıştır.

3.2.6.3. Akış hızı

Denemelerde, deney sisteminin iki ayrı noktasından akış hızı ölçülmüştür (Şekil 3.27). Pompa kolon borusu içinde ortalama su hızı akış hızı (v_1), kuyu teçhiz borusu ile pompa anma çapı arasında kalan halka boşluk mesafesinin 2/3'lük kısmı kadar içeriye uzatılarak, pompa giriş ağzındaki akış hızı (v_2) için sensör probu pompa emiş ağzı içine monte edilmiştir.

3.2.6.4. Sıcaklık ve bağıl nem

Sıcaklık ölçümü, sadece çalışma koşullarını makro düzeyde ortaya koyabilmek için yapılmıştır. Uygulamada ve pratik koşullarda 0 - 30 °C arasındaki su, soğuk su olarak kabul edilmekte ve sıcaklığa bağlı suyun bazı fiziksel özellikleri Çizelge 3.21'de verilmiştir (Tezer, 1978; Çengel ve Cimbala, 2008). Ortamın bağıl nemi de aynı amaçla belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. İki ayrı sıcaklık sensörüyle biri hava ortamında diğeri teçhiz borusu içinde akan su ortamında ölçülmüş olup °C birimiyle otomatik olarak kayıtlanmıştır.

3.2.6.5. Gürültü seviyesi

Gürültü seviyesi, gürültü ölçme cihazı ile kule kumanda merkezi platformundan pompa kolon ile mika kapalı teçhiz borusu arasındaki boşluğa yaklaşık 1 m kadar aşağısında, cihaz mikrofonu pet huni ile çevrelenmiş bir şekilde ölçülmüştür (Čdina, 2003; Čudina ve Prezelj, 2009; Maxime ve Chen Li, 2015). Cihaz mikrofonu ile suyun teması olmamıştır (Şekil 3.27).

3.2.6.6. Dalma derinliği

Dalma derinliği, pompa su giriş ağzı ekseni ile kuyu teçhiz borusu içindeki su yüksekliğinin ölçüsüdür. Türkçe birçok literatürde batıklık olarak da tanımlanmıştır. Ancak yabancı literatürde "submergence" terimi ile ifade edilmektedir (Yildirim ve Kocabaş, 1995; Anonim, 1998; Hanson, 2000; Christiansen, 2005). Dalma derinliği bu çalışma, çelik şerit metre ile ölçülmüştür. Başka bir ifadeyle, dalma derinliği, pompa su giriş ağzı ekseni üzerindeki pozitif su yükünü temsil eder (Şekil 3.36).

3.2.7. Kalibrasyon

Bu çalışmada debimetre, pozitif basınç ölçer, güç analizörü ve sıcaklık sensörünün kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyonda sensörlerin dijital göstergeleri esas alınmıştır.

3.2.7.1. Debimetre kalibrasyonu

Bu çalışmada sadece DN 100 elektromanyetik debimetre, kütlesel depo yöntemine göre kalibre edilmiştir. Kalibrasyon değerleri Çizelge 3.17'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.17. DN100 elektromanyetik debimetre kalibrasyon değerleri

Elektromanyetik debimetre ($m^3 h^{-1}$)	Depo yöntemi ($m^3 h^{-1}$)	Sapma (%)
32.5	32.1	1.2
41.7	41.9	0.47
49.8	49.5	0.6
61.9	61.7	0.32
70.4	70.2	0.28
Ortalama 51.26	51.08	0.57

3.2.7.2. Manometre kalibrasyonu

Pompa çıkış basıncın ölçülmesinde kullanılan pozitif basınçölçerin (manometre) kalibrasyonu, cıvalı U-diferansiyel manometre ile yapılmıştır. Kalibrasyon değerleri Çizelge 3.18'de verilmiştir.

Çizelge 3.18. Manometre kalibrasyon değerleri

U-diferansiyel manometreden hesaplanan (bar)	Manometreden okunan basınç (bar)	Sapma (%)
0.215	0.212	1.39
0.580	0.570	1.72
0.840	0.850	1.17
1.070	1.080	0.92
1.850	1.840	0.54
Ortalama 0.911	0.910	1.14

3.2.7.3. Güç analizörünün kalibrasyonu

Şebekeden çekilen elektriksel gücün ölçümünde kullanılan güç analizörü, sayaç yöntemine göre kalibre edilmiştir. Elektriksel güç ölçme yöntemlerinden olan ve panoda yer alan "Sayaç" tan, sayaç diskinin belirli bir devrini (n_{sd}) tamamlama süresi saniye olarak (t) bir kronometre ile ölçerek ($N_Ş$) şebekeden çekilen elektriksel güç aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Burada S_s sayaç üzerinde bulunan 55 devir/kWh değerindeki sabitesidir.

$$N_{Ş3} = \frac{3600 * n_{sd}}{S_S * t} \text{ (kW)} \qquad (3.2)$$

Kalibrasyon değerleri Çizelge 3.19'da verilmiştir.

Çizelge 3.19. Güç analizörü kalibrasyon değerleri

Güç analizörü (kW)	Sayaç (kW)	Sapma (%)
3.15	3.11	1.26
3.66	3.67	0.27
4.10	4.09	0.24
5.28	5.29	0.18
6.56	6.54	0.15
Ortalama 4.55	4.54	0.42

3.2.7.4. Sıcaklık ölçer kalibrasyonu

Ortam sıcaklık ölçeri, su sıcaklık ölçeri ile aynı teknik özellikleri taşımaktadır, cıvalı termometre ile kalibre edilmiştir. Kalibrasyon değerleri Çizelge 3.20'de verilmiştir.

Çizelge 3.20. Sıcaklık ölçer kalibrasyon doğrusu ve denklemi

Sensör sıcaklığı (^{0}C)	Civalı termometre sıcaklığı (^{0}C)	Sapma (%)
3.16	3.15	0.31
6.44	6.40	0.62
10.18	10.15	0.29
21.45	21.50	0.23
28.55	28.35	0.77
Ortalama 13.95	13.91	0.44

3.2.8. Hesaplar

Bu çalışma kapsamındaki hesaplarda kullanılan sıcaklığa bağlı suyun bazı fiziksel özellikleri Çizelge 3.21'de verilmiştir (Tezer, 1978; Çengel ve Cimbala, 2008). Deney tesisinin bulunduğu yerdeki, yerel atmosfer basıncı 1053 m yükselti için 88.1214 kPa olarak alınmıştır. Ayrıca bu yerel basınç ve 20 °C sıcaklıktaki suyun yüzey gerilmesi (σ_s) 0,073 N/m değeri kabul edilmiştir. Sıcaklık arttıkça ve basınç azaldıkça yüzey gerilme değerleri azalmaktadır (Çengel ve Cimbala, 2008).

Çizelge 3.21. Suyun sıcaklığı başlıca bazı fiziksel özellikleri

Sıcaklık t (°C)	Yoğunluk ρ (kg m^{-3})	Kinematik viskozite υ (mm^2 s^{-1})	Buhar basınç yüksekliği h_b (m)
0	999.8	1.79	0.062
2	999.9	1.67	0.072
4	1000.0	1.56	0.083
6	999.9	1.46	0.095
8	999.8	1.38	0.109
10	999.6	1.31	0.125
12	999.4	1.24	0.143
14	999.2	1.17	0.163
16	998.8	1.11	0.185
18	998.5	1.06	0.210
20	998.2	1.01	0.238
30	995.6	0.804	0.432
40	992.2	0.658	0.752
50	988.0	0.557	1.258
60	983.2	0.478	2.031
80	971.8	0.366	4.829
100	958.3	0.295	10.03

3.2.8.1. Toplam dinamik yükseklik

Pompalarda toplam dinamik yükseklik pompa çıkışı ile girişi arasındaki toplam enerji arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Toplam enerji bileşenleri, enerji korunumunu karakterize eden Bernouilli denkleminde yer alan basınç, hız ve konum enerjilerinden oluşmaktadır. Deneylerde kullanılan düz boru uzunluğu ve armatürlerin neden olduğu sürtünmeye bağlı yük kaybı, bu çalışmada ihmal edilmiştir. Buna göre derin kuyu pompalarında toplam dinamik yükseklik (TDY) kPa birimiyle aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Tezer, 1978; Çengel ve Cimbala, 2008).

$$TDY = (P_b + \rho g\Delta + \rho v_2^2/2)/1000 \quad (3.3)$$

3.2.8.2. Kritik dalma derinliği

Bu çalışmada kritik dalma derinliği (S_k) pompa giriş ekseninde ölçülen basınç dikkate alınarak aşağıda açıklandığı üzere özgün bir ölçüte göre belirlenmiştir.

Şekil 3.13'de gösterildiği üzere cıvalı U diferansiyel manometresinin sağ kolundaki cıva seviyesi ile 2 no'lu referans düzlemi arasındaki yükseklik h_e ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Pompa çalıştırılmadan önce h_e yüksekliği düşey hidrolik yüke eşittir ve dalma derinliği maksimum değerdedir. Pompa çalıştırıldığında çekilen debiye bağlı olarak emiş arttıkça h_e yüksekliği azalmaktadır. h_e değerinin sıfırdan sonrası pompa emişinde negatif basınç oluşmaktadır. Teçhiz borusundaki pozitif su yükü pompa emiş ağzında geliştirilen emiş yükünü karşılayamamaktadır. Devam edecek vakum artışı ile emiş ağzına hava girmesiyle ve dolayısıyla vorteks oluşumunun başlamasına neden olacaktır.

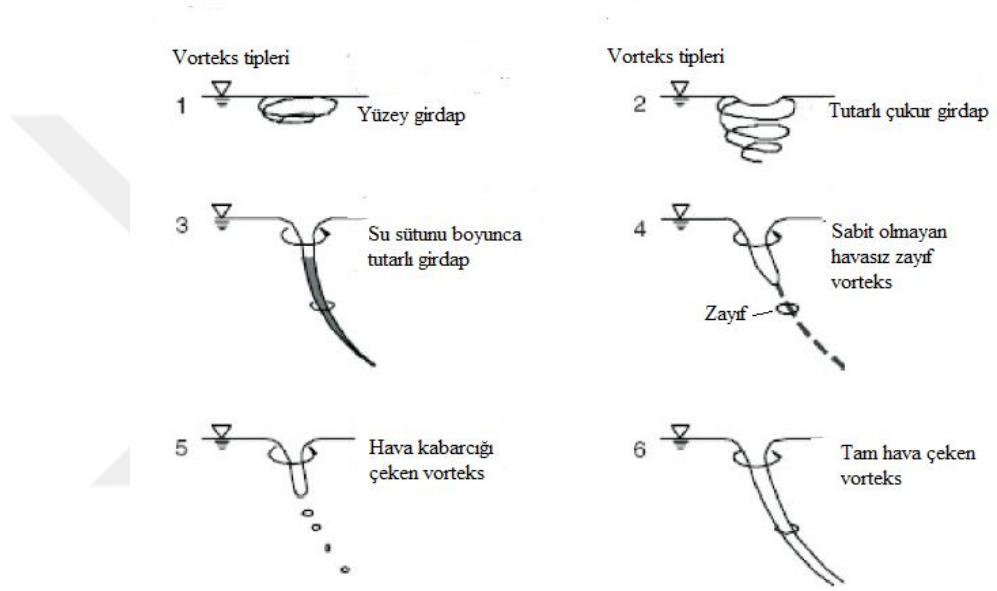
h_e değerleri mm olarak ölçülerek, $P_e=\rho_c*g*h_e*10^6$ eşitliği yardımıyla kPa birimine dönüştürülmüştür. Burada cıvanın yoğunluğu $\rho_c = 13600$ kgm^{-3} ve yer çekimi ivmesi g= 9.81m s^{-2} olarak kabul edilmiştir.

Daha sonra sabit debilerde, dalma derinliğinin fonksiyonu olarak P_e ilişkisinden elde edilen regresyon denklemlerinden P_e değerini sıfır kılan dalma derinliği (S) değeri hassas olarak belirlenmiş ve kritik dalma derinliği (S_k) olarak kabul edilmiştir.

3.2.9. Vorteks tipi ve vorteks oluşum derinliği

Vorteks tipleri, deneyler sırasında K_1 ve K_2 kameraları aracılığı ile eş zamanlı olarak kayıt altına alınan video görüntüleri incelenerek oluşmaya başlamış ya da oluşmuş vortekslerin şekli Şekil 3.26'da verilen vorteks sınıflandırmasına göre ile tanımlanmaya çalışılmıştır.

Vorteks tiplerinin belirlendiği andaki, deney kombinasyonu ve vorteks oluşma dalma derinliği (S_v) belirlenmiştir. Vorteks (S_v), igili deney kombinasyonunda hangi debi değerinde ve hangi dalma derinliğinde görülmüş ise onun görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.26. Vorteks tipi sınıflandırılması (Anonim, 1998)

3.2.10. Kritik dalma derinliğinin matematiksel ilişkileri

Bu çalışmada, derin kuyu pompalarında kritik dalma derinliğinin hesaplanabileceği bir eşitliğin geliştirilmesi öngörülmüştür. Bu bağlamda santrifüj pompalarda, mekanik enerjinin, hidrolik enerjiye nasıl dönüştüğünün açıklanması, açısal momentumun momenti alınarak elde edilen Euler eşitliği ispatlanmıştır. Bu ilkeden yola çıkarak derin kuyu pompasının kuyu içindeki konumu ve su aktarımı esas alınarak yine momentumun korunumu kanunu kapsamında Şekil 3.27'de şematik olarak gösterildiği gibi doğrusal momentumun denge denklemi yazılarak teorik olarak minimum dalma derinliği (S_h) için bir eşitlik elde edilmiştir. Buna göre F1 pompalanan suyun yukarı itme kuvvetini, F2 ise pompa emiş ağzı üzerindeki aşağı yönlü su yükü kuvvetini ifade etmektedir. Denge koşulunda F1=F2 olup teorik olarak vorteksin

oluşmaması için F2>F1 olması gerektiği değerlendirilmiştir. Bu yaklaşıma göre denklem aşağıdaki gibi yazılmış ve sadeleştirilmiştir. Son eşitlikte pompa kolon borusu iç kesit alanı A_k (m^2), kuyu teçhiz borusu ile pompa kolon boru arasında kalan halka kesit alanını A_h (m^2) ve kolon borusu içindeki ortalama su hızını v_2 (ms^{-1}) ifade etmektedir.

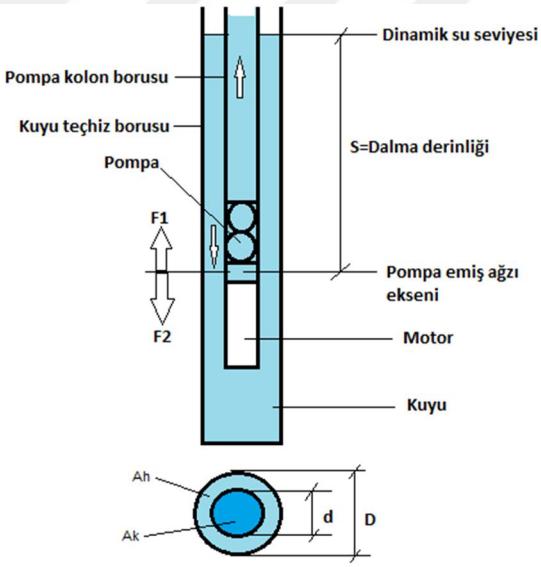
$$Q= A_k*v_2 \text{ ve } F1= \rho*Q*v_2 \text{ ise } F1= \rho* A_k*v_2{}^2 \quad (3.4)$$

$$F2= \rho *g * A_h *S_h$$

$$F2>F1$$

$$A_h*\rho*S_h *g \geq \rho* A_k*v_2{}^2$$

$$S_h \geq (A_k/A_h)*(1/g)*v_2{}^2$$



Şekil. 3.27. Denge konumunda etkili momentum bileşenlerinin şematik gösterimi

3.2.11. İstatistiksel değerlendirmeler

Araştırmada, dalgıç pomparla çalışmada seçilen parametrelere bağlı olarak düşüm seviyesi ve gürültü değerlerine varyans analizleri yapılmıştır. Analizlerin önemli çıkması durumunda MSTAT C paket programı kullanılarak LSD testi testleri yapılmıştır (Düzgüneş ve ark., 1983).

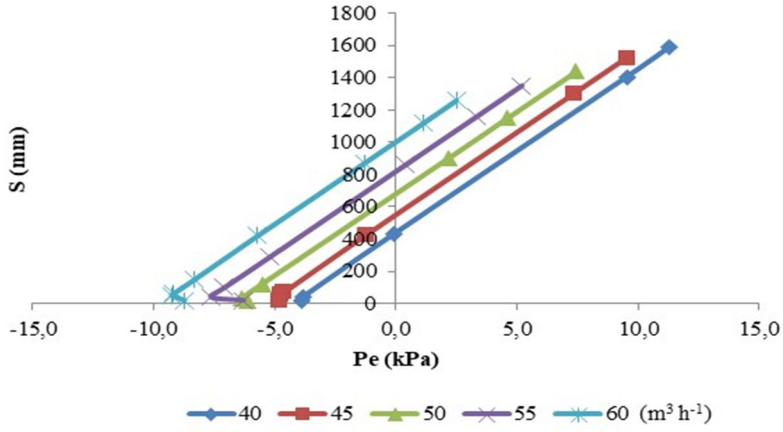
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Araştırmada, 3 farklı anma çapında Dalgıç derin kuyu pompaları kullanılarak, 3 farklı pompa giriş kesit alanında (KA), 5 farklı debi (Q) ve 5 farklı dalma derinliği (S) değerlerinde denemeler yürütülmüş olup, elde edilen sonuçlar Ek Çizelge 1…9'da verilmiştir. Denemelerde, kuyuda meydana gelen düşüm (Δ), v1 ve v2 hızları, kuyu içindeki gürültü seviyesi (G), şebekeden çekilen güç (N), pompa çıkış basıncı (Pb) ve pompa emme ağzı giriş basıncı (Pe) değerleri ölçülmüştür. Ayrıca pompanın giriş ağzındaki yatay ve düşey eksenler yerleştirilen iki ayrı noktadan (K_1 ve K_2) video kamera görüntüleri alınmış ve vorteksin oluştuğu dalma derinlikleri ve vorteks tipleri saptanmıştır.

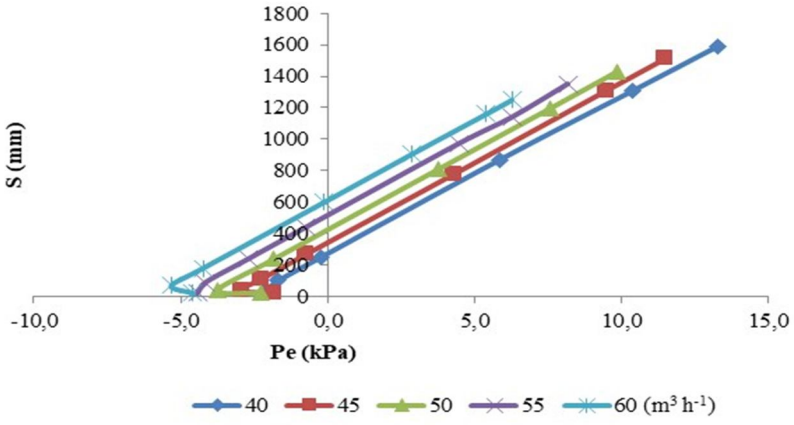
4.1. Kiritik Dalma Derinliğinin Belirlenmesi

Pompaların sabit debi değerlerinde dalma derinliğinin fonksiyonu olarak P_e değerleri Şekil 4.1…4.9 arasında verilmiştir. Bu fonksiyonlardan regresyon deklemleri çıkartılarak P_e basınc değerinin sıfır olduğu kiritik dalma derinliği seviyeleri hesaplanmış ve Çizelge 4.1'de verilmiştir.

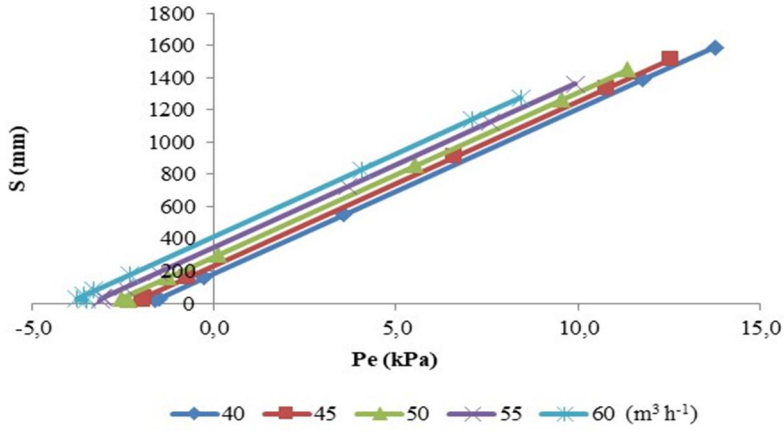
Çizelge 4.1 incelenmesiyle her üç pompa anma çapı ve giriş ağzı kesit alanı için debi arttıkça kritik dalma derinliklerinin yükseldiği, başka bir ifade ile kritik dalma derinliğinin debi ile orantılı olduğu görülmektedir. En yüksek kritik dalma derinliği seviyesi 60 $m^3 h^{-1}$ debi değerinde D_1KA_1 kombinasyonunda 1000 mm, en düşük kritik dalma derinliği ise 10.2 mm ile D_3KA_3 kombinasyonunda elde edilmiştir. Sabit debi değerlerinde ve pompa anma çaplarında, kesit alanının küçültülmesiyle kritik dalma derinliği seviyeleri yükselmiştir. Bu durumu, küçük kesit alanlarında suyun pompaya giriş hızının yükselmesiyle vakum basıncının artmasına bağlayabiliriz. Benzer ilişki Okamura ve ark. (2007) tarafındanda tespit edilmiştir.



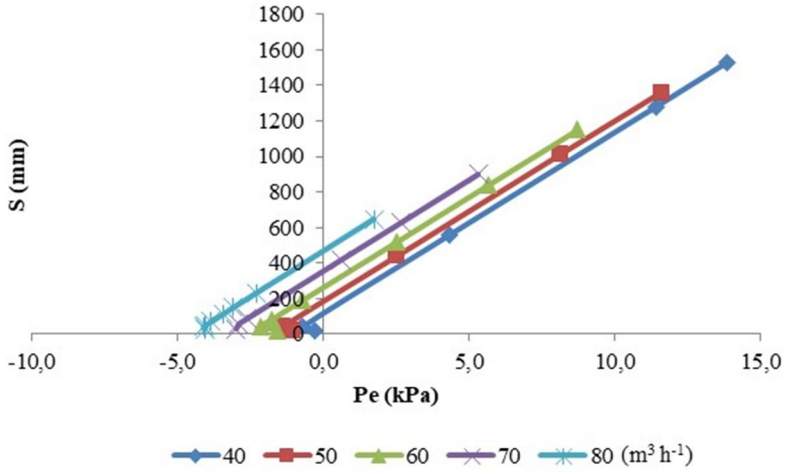
Şekil 4.1. D_1KA_1 kombinasyonunda değişik debilerde dalma derinliği ve giriş basıncı değerlerinin değişimi



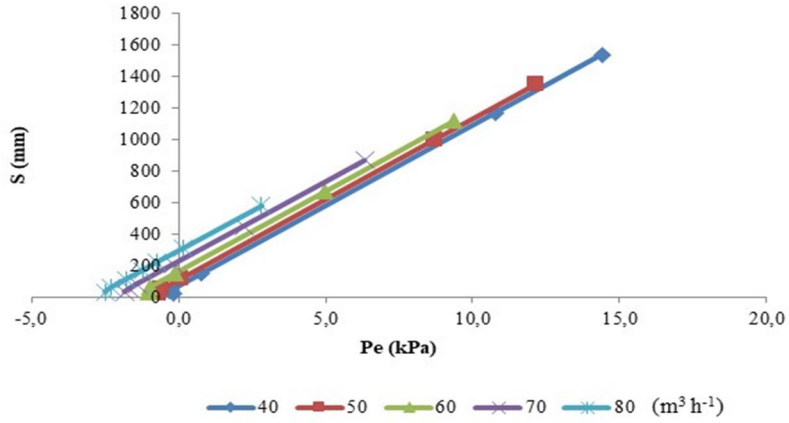
Şekil 4.2. D_1KA_2 kombinasyonunda değişik debilerde dalma derinliği ve giriş basıncı değerlerinin değişimi



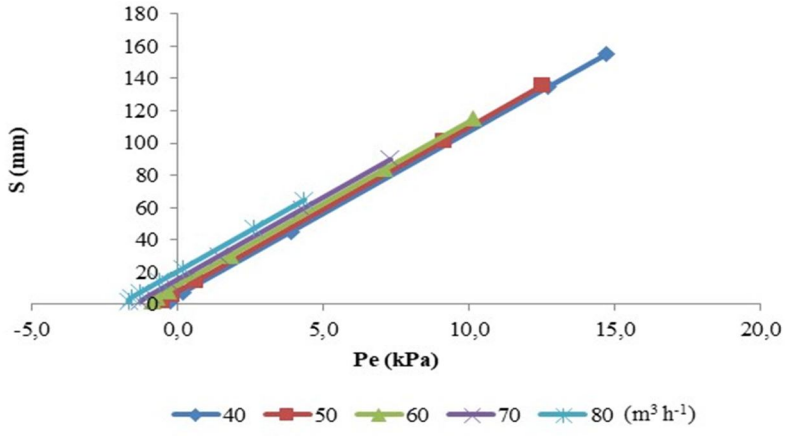
Şekil 4.3. D_1KA_3 kombinasyonunda değişik debilerde dalma derinliği ve giriş basıncı değerlerinin değişimi



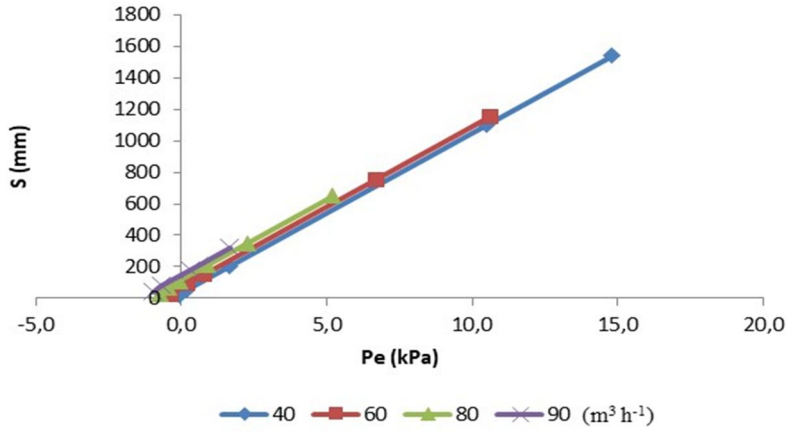
Şekil 4.4. D_2KA_1 kombinasyonunda değişik debilerde dalma derinliği ve giriş basıncı değerlerinin değişimi



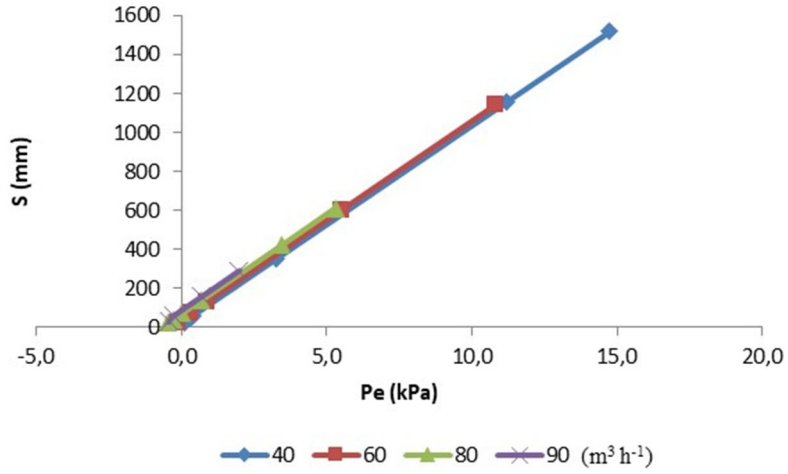
Şekil 4.5. D_2KA_2 kombinasyonunda değişik debilerde dalma derinliği ve giriş basıncı değerlerinin değişimi



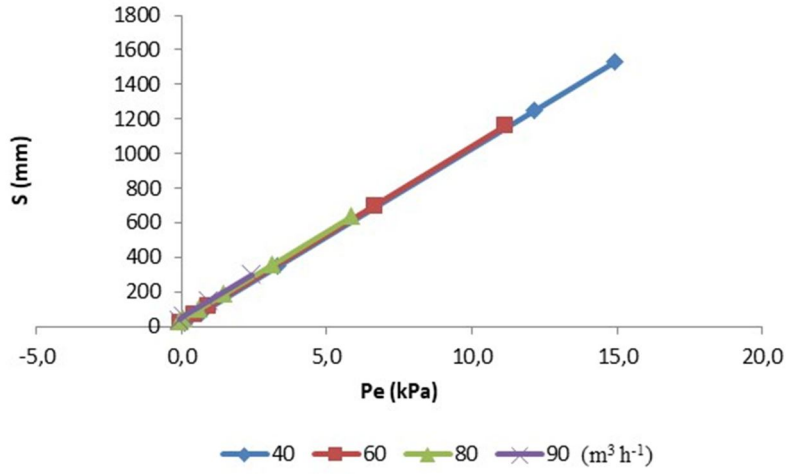
Şekil 4.6. D_2KA_3 kombinasyonunda değişik debilerde dalma derinliği ve giriş basıncı değerlerinin değişimi



Şekil 4.7. D_3KA_1 kombinasyonunda değişik debilerde dalma derinliği ve giriş basıncı değerlerinin değişimi



Şekil 4.8. D_3KA_2 kombinasyonunda değişik debilerde dalma derinliği ve giriş basıncı değerlerinin değişimi



Şekil 4.9. D_3KA_3 kombinasyonunda değişik debilerde dalma derinliği ve giriş basıncı değerlerinin değişimi

Çizelge 4.1. Dalgıç pompalarda farklı kesit alanı ve debi değerlerinde elde edilen kritik dalma derinliği (mm)

Q	D_1			D_2			D_3		
(m^3h^{-1})	KA_1	KA_2	KA_3	KA_1	KA_2	KA_3	KA_1	KA_2	KA_3
40	430	260	186	88	59	48	28	15	10
45	540	317	231	-	-	-	-	-	-
50	674	385	284	161	104	75	-	-	-
55	807	505	348	-	-	-	-	-	-
60	1000	593	411	245	153	112	62	36	23
70	-	-	-	350	223	153	-	-	-
80	-	-	-	464	290	198	114	68	40
90	-	-	-	-	-	-	146	82	51

Sabit debi değerlerinde ve kesit alanlarında pompa anma çapı arttıkça kritik dalma derinliği seviyeleri azalmıştır. Pompa anma çapı arttıkca kesit alanları da orantılı olarak artmaktadır. Kolon borusunun sabit olması nedeniyle pompa anma çapı arttıkça, kuyu kesit alanı azalmaktadır. Bu durum pompaya suyun giriş hızını artırdığan dolayı kiritik dalma derinliği seviyeleri azalmıştır. Benzer sonuçları Hanson (2000) ve Christiansen (2005)'de bildirmektedirler.

4.2. Vorteks Oluşumu ve Tiplerinin Belirlenmesi

Denemeler boyunca farklı debi ve dalma derinliklerinde iki eksenden (K_1 radyal ve K_2 eksenel) kaydedilen video kamera görüntülerinin incelenmesi sonucunda oluşan vorteks görüntüleri Ek Şekil 1…42'de verilmiştir. Çizelge 4.2'de ise elde edilen vorteks dalma derinliği ve tipleri görülmektedir. Ek Şekillerde elde edilen vortekslerin düşük dalma derinliklerinde (20-40 mm) hava girişinin sürekli olduğu ve oluşan vortek tipinin tam hava çeken vorteks (tip 6) olduğu belirlenmiştir. Yüksek dalma derinliklerinde görüntülenen vorteks tipi ise kesikli tip olarak saptanmıştır. Başka bir ifade ile hava girişi olmayan vorteks tipi (tip 3, 4 ve 5) olduğunu vurgulayabiliriz. Düşük dalma derinliklerinde sürekli hava girişi olduğunu Okamura ve ark.,(2007)'da çalışmalarında vurgulamışlardır.

Pompaların, sabit debi değerlerinde farklı pompa anma çaplarında değişik su hareketleri gözlenmiştir. Değişik su hareketlerinin oluşmasının nedenini, kuyu kesit alanına bağlı hız ve vakum değerlerinin değişmesiyle ve dar alanda suyun farklı davranış göstermesi ile açıklayabiliriz. Buna örnek olarak D_1 pompasında 40 m^3 h^{-1} debi değerinde ve 40 mm dalma derinliğinde (Ek Şekil 1) su yüzeyi düze yakın ve dalgalanma yok denecek kadar az (5-10 mm) iken, D_3 pompasında aynı debi değerinde

ve 55 mm dalma derinliğinde (Ek Şekil 31) su yüzeyi hareketli ve dalgalanmanın yüksek (20-60 mm) olmasıyla açıklayabiliriz.

Çizelge 4.2. Araştırmada elde edilen vorteks dalma derinlikleri ve tipleri

		Q (m^3h^{-1})	Vorteks dalma derinliği (mm)	Vorteks tipi
D_1	KA_1	40	40	4
		45	55	4
		50	30	5
		55	45	5
		60	55	5
	KA_2	40	25	6
		45	40	5
		50	45	6
		55	95	4
		60	70	4
	KA_3	40	30	5
		45	40	5
		50	35	4
		55	45	5
		60	55	4
D_2	KA_1	40	20	6
		50	40	3
		60	45	4
		70	60	4
		80	75	3
	KA_2	40	50	1
		50	55	1
		60	60	2
		70	55	2
		80	110	2
	KA_3	40	20	6
		50	65	4
		60	80	4
		70	130	4
		80	145	5
D_3	KA_1	40	75	5
		60	85	2
		80	100	2
		90	65	5
	KA_2	40	60	5
		60	75	2
		80	75	2
		90	160	1
	KA_3	40	50	5
		60	70	4
		80	65	5
		90	100	2

Anma çapı küçük pompalarda, düşük dalma derinliklerinde su yüzeyindeki dalgalanma küçük değerlerde, büyük pompalarda ise dalgalanma değerleri yüksek olarak saptanmıştır. Vorteks oluşumuna pompa boyutunun, su giriş hızının, pompanın mekanik özelliğinin, kuyu tasarımının ve su seviyesinin etkili olduğu bildirilmektedir (Schiavello ve ark., 2004; Christiansen, 2005; Okoro, 2013).

Denenen pompaların yüksek debi değerlerinde ve düşük dalma derinliklerinde ortaya çıkan vorteks görüntüleri (tipleri) anma çaplarına göre farklılık göstermiştir. D_1 pompasında 60 m^3 h^{-1}'lik debide ve 50 mm dalma derinliğinde (Ek Şekil 15) tam vorteks (Tip 4) oluşumu elde edilmiştir. D_3 pompasında ise 90 m^3 h^{-1} debisinde ve 60 mm dalma derinliğinde (Ek Şekil 38b) vorteks (tip 1) oluşumu farklıdır.

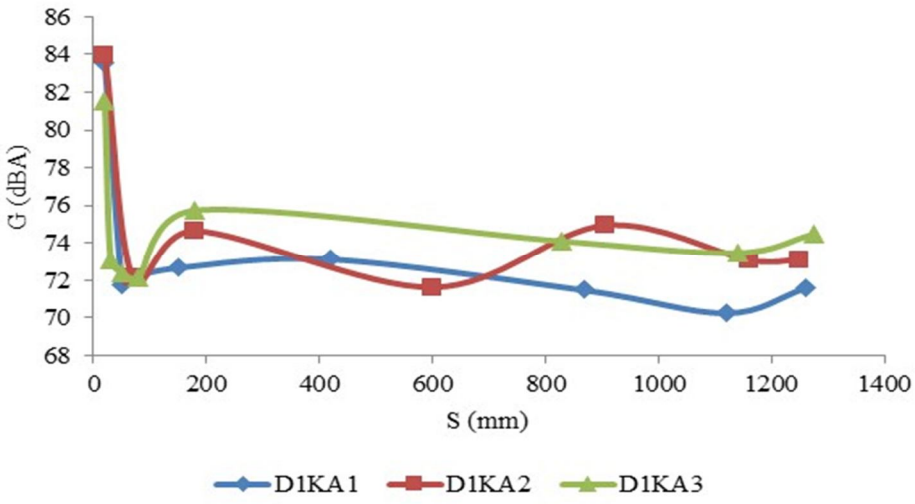
Kritik dalma derinlikleri Çizelge 4.1 ve 4.2'nin incelenmesi sonucunda vorteksin görüldüğü dalma derinliklerinde farklılık olduğu belirlenmiş olup, kamera ile belirlenen vorteks dalma derinliklerinin (Çizelge 4.2), hesaplanan kritik dalma derinliği değerlerinden daha küçük değerlerde olduğu saptanmıştır. Bu farklılığa kamera ile belirlenen vorteks oluşumunun daha küçük dalma derinliğinde oluşması neden olarak gösterilebilir.

4.3. Dalma Derinliğinin Gürültü Seviyesine Etkisi

Denemeler de dalgıç pompaların dalma derinliğine bağlı gürültü seviyesi değişimleri Ek Çizelge 1…9'da verilmiştir. Dalgıç pompaların sabit debi değerlerinde farklı dalma derinliği seviyelerinde oluşan gürültü düzeylerinin ortalamaları en düşük 70.08 dBA ile D_3KA_1 kombinasyonunda 45 m^3 h^{-1} debi değerinde elde edilirken, en yüksek 78.8 dBA ile D_2KA_1 kombinasyonunda 60 m^3 h^{-1} debi değerinde elde edilmiştir. Pompaların tüm debi ve kombinasyonlarında, pompanın suyu emmesi esnasında, özellikle düşük dalma derinliklerinde hava girişi ile gürültü seviyesi değerleri ani olarak yükselmiştir.

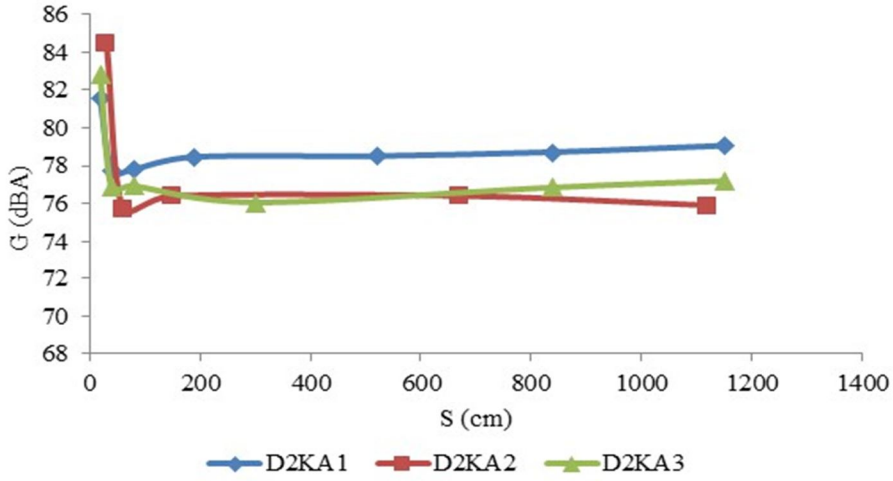
Dalgıç pompaların farklı giriş kesit alanı ve dalma derinliğine bağlı olarak 60 m^3 h^{-1}'lik debi değerinde elde edilen gürültü seviyelerinin değişimleri Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'de verilmiştir.

D_1 pompasının orijinal kesit alanı olan D_1KA_2'de farklı dalma derinliklerinde elde edilen ortalama gürültü değerleri 73.25 dBA olarak tespit edilmiştir. Diğer kesit alanlarında elde edilen ortalama gürültü değerleri D_1KA_1'da 71.85 dBA ve D_1KA_3'de ise 73.63 dBA olarak bulunmuştur.



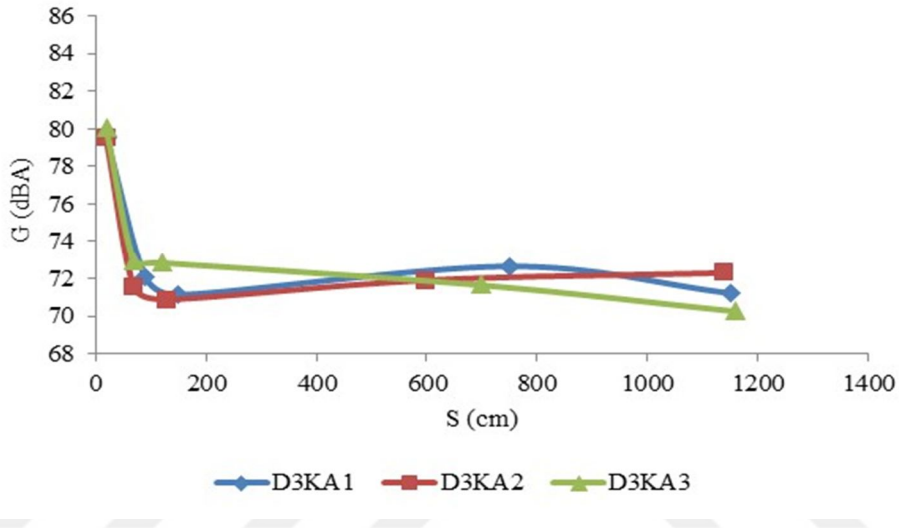
Şekil 4.10. D_1 pompasının 60 m^3h^{-1} debi değerinde pompa giriş kesit alanı ve dalma derinliğine bağlı olarak elde edilen gürültü değerleri

D_2 pompasına ait 60 m^3h^{-1}'lik debi değerinde ve D_2KA_2 kombinasyonunda farklı dalma derinliklerinde elde edilen ortalama gürültü değeri 76.09 dBA olarak saptanmıştır. Kesit alanlarının değişimiyle elde edilen ortalama gürültü değerleri ise D_2KA_1 78.38 dBA ve D_2KA_3 ise 76.77 dBA olarak bulunmuştur. Şekil 4.11'de görüldüğü gibi pompanın D_2KA_2 ve D_2KA_3 kombinasyonların da birbirine yakın gürültü değerleri çıktığı, D_2KA_1 kombinasyonun da ise diğerlerinden yüksek gürültü değerlerin elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.11. D_2 pompasının 60 m^3h^{-1} debi değerinde pompa giriş kesit alanı ve dalma derinliğine bağlı olarak elde edilen gürültü değerleri

D_3 pompasının 60 m^3h^{-1}'lik debi değerinde D_3KA_2 kombinasyonunda farklı dalma derinliklerinde ölçülen ortalama gürültü seviyesi değerleri 71.64 dBA olarak belirlenmiştir. Kesit alanının değişimesi ile ortalama gürültü değerleri küçük giriş kesit alanında (D_3KA_1) 71.78 dBA ve büyük giriş kesit alanında (D_3KA_3) ise 71.93 dBA olarak değişim göstermiştir. Şekil 4.12'de görüldüğü gibi pompanın farklı giriş ağzı kesit alanlarında elde edilen gürültü değerleri arasında belirgin bir farklılık olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.12. D_3 pompasının 60 m^3h^{-1} debide pompa giriş kesit alanı ve dalma derinliğinin gürültü seviyesi üzerine etkisi

Ayrıca Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'nin incelenmesiyle gürültü değerlerinin e yüksek olduğu dalma derinliklerinin düşük değerlerde olması, pompanın vorteks oluşumuna başladığı anlamına gelmektedir. Diğer bir deyişle dış çevre koşullarından arındırılmış gürültü seviyesi ölçümleri ile vorteks oluşumunun başlama anı ile ilgili dalma derinliklerinin belirlenebileceğini vurgulayabiliriz. Benzer sonuçları Čdina (2003), Čudina ve Prezelj (2009) yaptıkları çalışmalarında pompaların ses frekanslarının vorteks durumunda, pompanın değişik çalışma rejimlerine göre net bir şekilde ayrıştığını bildirmektedirler.

4.4. Dalma Derinliğinin Çekilen Güç Üzerine Etkisi

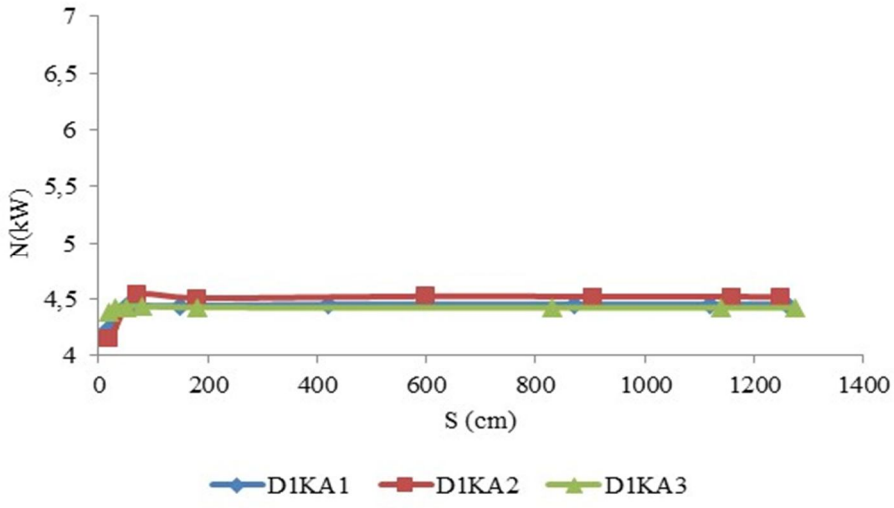
Araştırma da dalgıç pompaların tüm kombinasyonlarında dalma derinliğine bağlı gürültü seviyesi değişimleri Ek Çizelge 1…9'da verilmiştir.

D_1, D_2 ve D_3 pompalarının farklı kesit alanları ve dalma derinliklerinde 60 $m^3 h^{-1}$'lik debi değerinde elde edilen güç değerlerinin değişimi sırasıyla Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve 4.15'de verilmiştir.

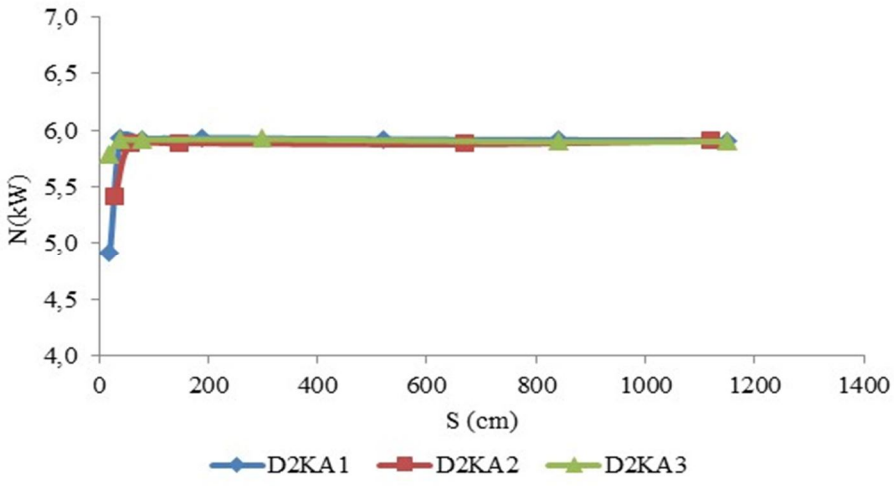
Şekil 4.13'ün incelenmesiyle D_1KA_2 kombinasyonunun 60 $m^3 h^{-1}$ debi değerinde ve farklı dalma derinliklerinde elde edilen güç değerlerinin ortalaması 4.52 kW olarak saptanmıştır. Pompanın diğer kesit alanlarındaki güç değerlerinin ortalaması D_1KA_1'de 4.44 kW ve D_1KA_3'de ise 4.42 kW olarak bulunmuştur. Orijinal kesit alanındaki güç değerleri diğer kesit alanlarına göre yüksek bulunmuştur.

Denenen D_2KA_2 kombinasyonunun 60 $m^3 h^{-1}$'lik debi değerinde farklı dalma derinliklerinde elde edilen ortalama güç değeri 5.88 kW olarak saptanmıştır. Kesit alanının değişimine bağlı olarak elde edilen ortalama güç değerleri D_2KA_1 kombinasyounda 5.92 kW ve D_1KA_3 kombinasyonunda ise 5.92 kW olarak bulunmuştur. Orijinal kesit alanında güç tüketim değeri diğer kesit alanlarından küçük bulunmuştur.

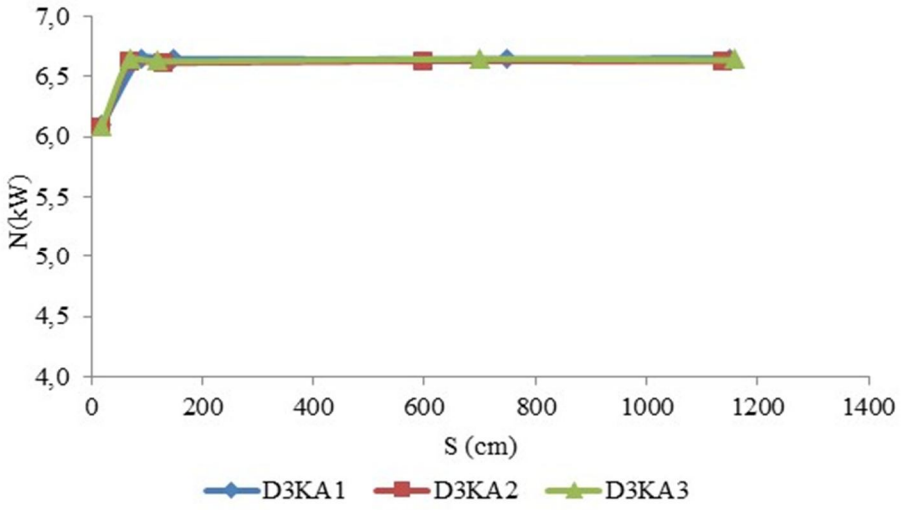
D_3 dalgıç pompasının 60 $m^3 h^{-1}$'lik debi değerinde D_3KA_2'de kombinasyonunda farklı dalma derinliklerinde belirlenen ortalama güç değerleri 6.62 kW olarak bulunmuştur. Kesit alanının değişimine bağlı olarak elde edilen ortalama güç değerleri küçük pompa giriş kesit alanında (D_3KA_1) 6.65 kW ve büyük giriş kesit alanında (D_3KA_3) ise 6.64 kW olarak bulunmuştur. Şekil 4.37'de de görüldüğü gibi güç tüketim değerleri birbirine yakın değerlerde çıkmıştır.



Şekil 4.13. D_1 pompasının 60 $m^3 h^{-1}$ debi değerinde pompa giriş kesit alanına ve dalma derinliğine bağlı olarak elde edilen güç değerleri



Şekil 4.14. D_2 pompasının 60 $m^3 h^{-1}$ debi değerinde pompa giriş kesit alanına ve dalma derinliğine bağlı olarak elde edilen güç değerleri



Şekil 4.15. D_3 pompasının 60 $m^3 h^{-1}$ debi değerinde pompa giriş kesit alanına ve dalma derinliğine bağlı olarak elde edilen güç değerleri

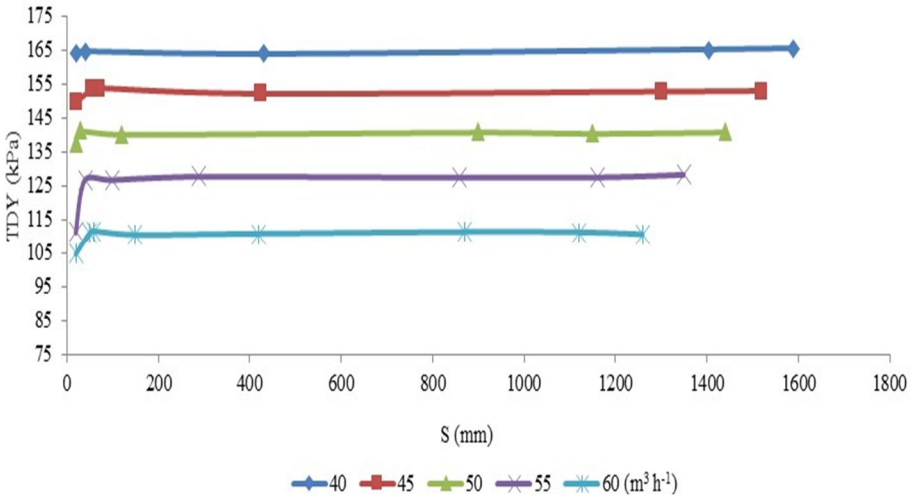
Dalma derinliğinin çekilen güç üzerine etkisi genel olarak değerlendirildiğinde, Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15'de görüldüğü gibi pompaların düşük dalma derinliği değerlerinde güç tüketiminde ani düşüşler göstermiştir. Şebekeden çekilen gücün ani düşmeye başladığı noktaya karşılık gelen dalma derinliğinin, kritik dalma derinliğinin aşılmaya başlandığı anlamına gelmektedir. Diğer bir deyişle vorteksin oluşmaya başladığı derinlik olarak değerlendirilebileceği söylenebilir.

4.5. Dalma Derinliğinin v_1 ve v_2 Hızlarına Etkisi

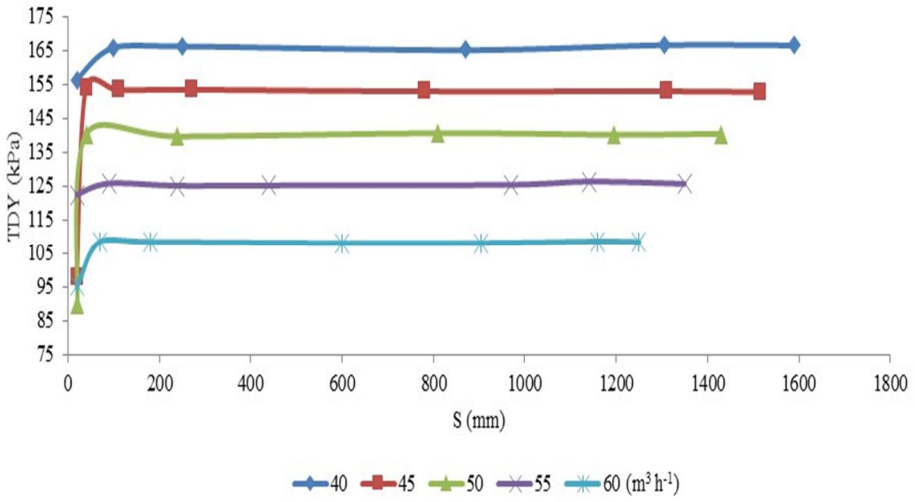
Dalgıç pompaların tüm kombinasyonlarında dalma derinliğine bağlı v_1 (pompa kolon borusu içinde ortalama su hızı akış hızı) ve v_2 (pompa giriş ağzındaki akış hızı) hız değişimleri Ek Çizelge 1...9'da verilmiştir. Bu Ek Çizelgelerin incelenmesiyle dalgıç pompaların tamamında dalma derinliğinin pompaya hava girişi olduğu ana kadar düşürülmesi, ölçülen v_1 ve v_2 hızlarında belirgin bir değişim göstermemiştir. Düşük dalma derinliklerinde ise pompalarda oluşan vorteks ve hava girişleri debiyle orantılı olarak hız değerlerinde de azalmalara sebep olmuştur.

4.6. Dalma Derinliğinin Toplam Dinamik Yükseklik (TDY) Üzerine Etkisi

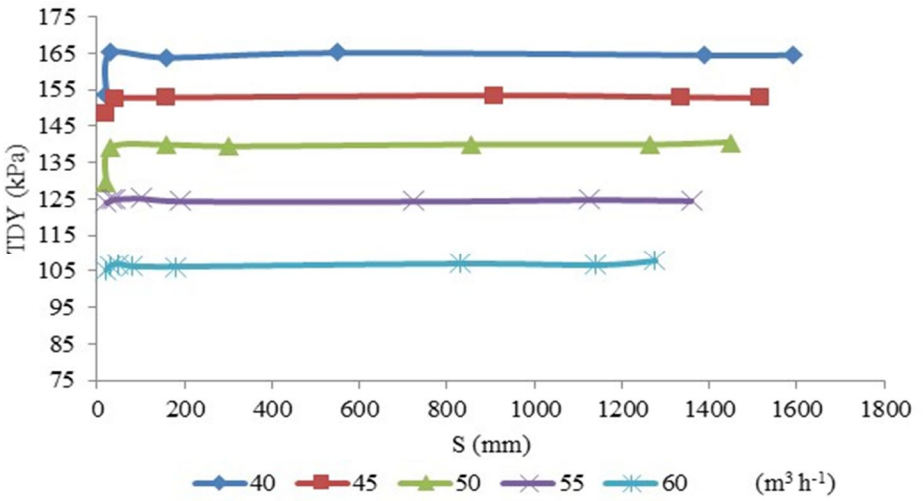
Dalgıç pompaların deneme kombinasyonlarında ölçülen Pb değerleri yardımıyla, toplam dinamik yükseklik (TDY) değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Şekil 4.16…4.24'da verilmiştir. Denenen dalgıç pompaların sabit debi değerlerinde farklı dalma derinliği seviyelerinde oluşan TDY değerlerinin ortalaması en yüksek 209.6 kPa ile D_3KA_2 kombinasyonunda 40 m^3 h^{-1}'lik debi değerinde elde edilirken, en düşük TDY değeri ortalaması ise 95.3 kPa değer ile M_2KA_2 kombihasyonunda 80 m^3 h^{-1}'lik debi değerinde elde edilmiştir. Denenen dalgıç pompaların anma çapı ve giriş kesit alanı seviyelerinde debinin artması ile TDY değerleri azalmıştır.



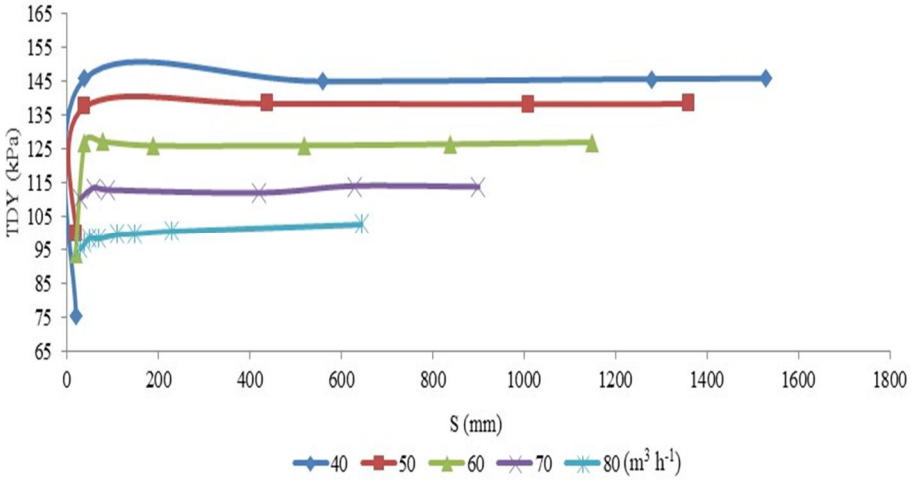
Şekil 4.16. D_1KA_1 kombinasyonun ve farklı sabit debilerinin TDY ile dalma derinliği değişimi



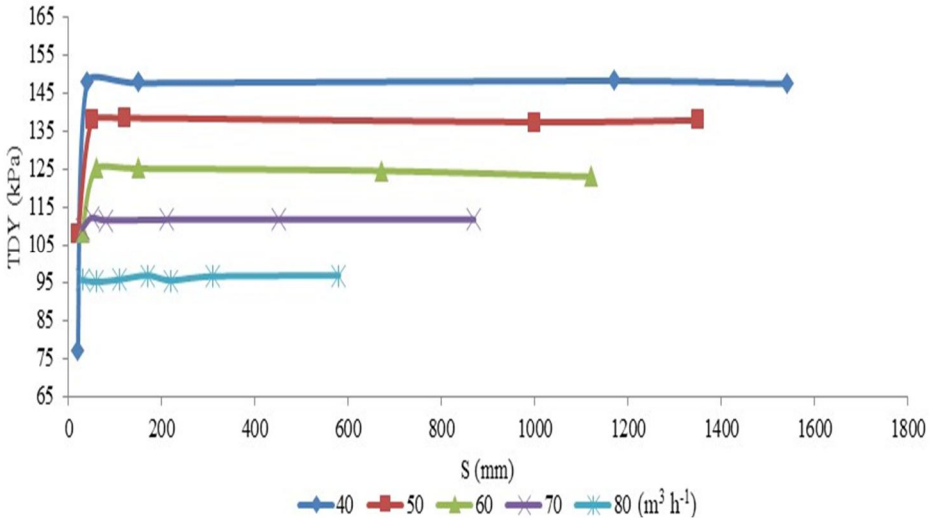
Şekil 4.17. D_1KA_2 kombinasyonun ve farklı sabit debilerinin TDY ile dalma derinliği değişimi



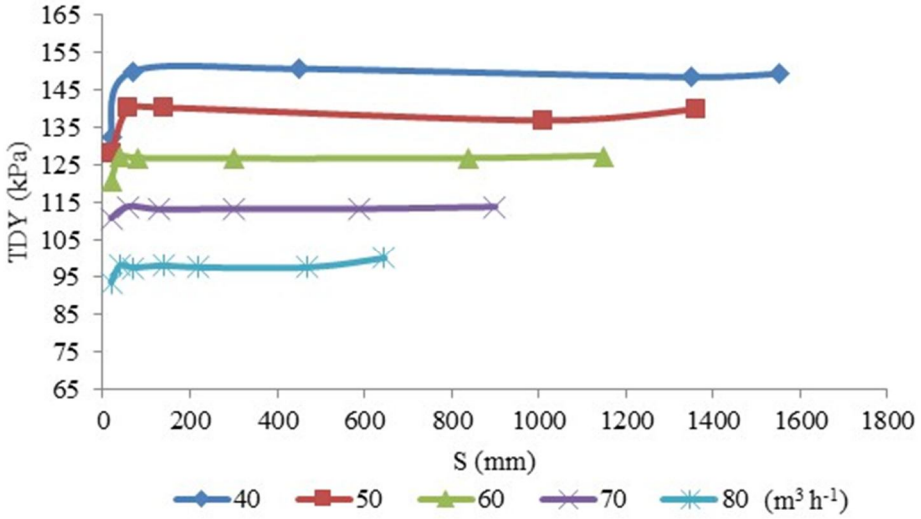
Şekil 4.18. D_1KA_3 kombinasyonun ve farklı sabit debilerinin TDY ile dalma derinliği değişimi



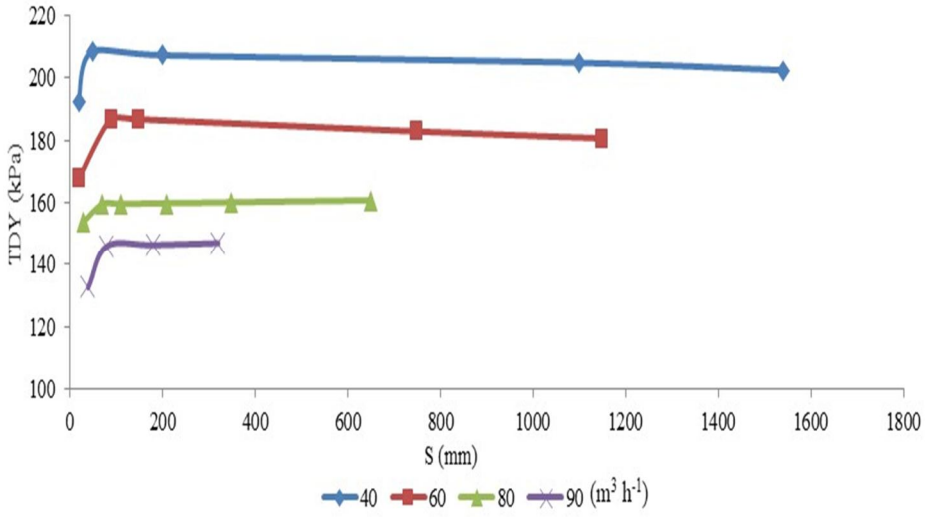
Şekil 4.19. D_2KA_1 kombinasyonun ve farklı sabit debilerinin TDY ile dalma derinliği değişimi



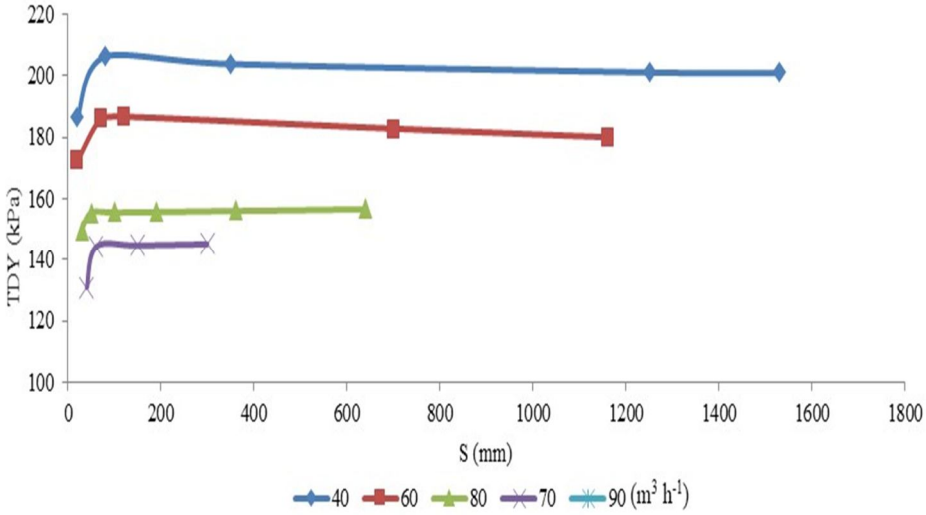
Şekil 4.20. D_2KA_2 kombinasyonun ve farklı sabit debilerinin TDY ile dalma derinliği değişimi



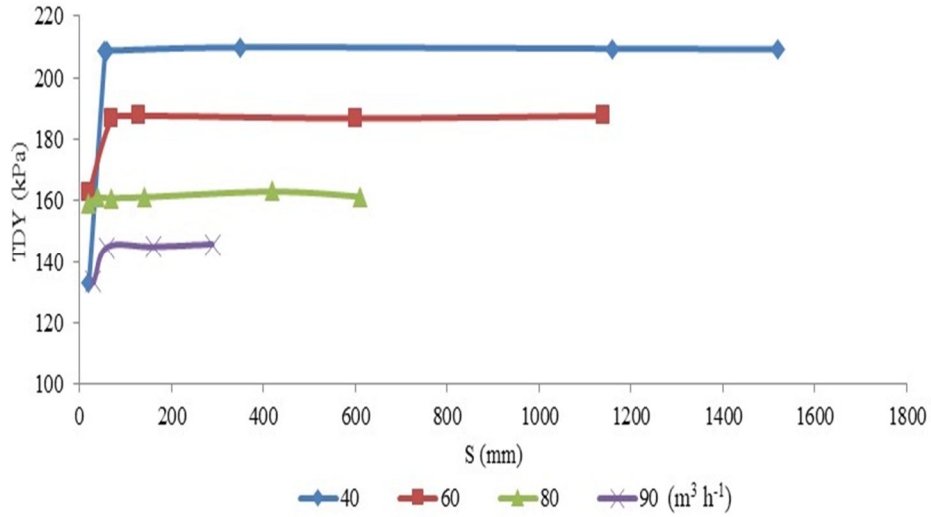
Şekil 4.21. D_2KA_3 kombinasyonun ve farklı sabit debilerinin TDY ile dalma derinliği değişimi



Şekil 4.22. D_3KA_1 kombinasyonun ve farklı sabit debilerinin TDY ile dalma derinliği değişimi



Şekil 4.23. D_3KA_2 kombinasyonun ve farklı sabit debilerinin TDY ile dalma derinliği değişimi



Şekil 4.24. D_3KA_3 kombinasyonun ve farklı sabit debilerinin TDY ile dalma derinliği değişimi

Pompa çıkış basınç değerinin (Pb) aynı debi değerinde ani olarak düşmesine (vorteks oluşması veya hava girmesi) bağlı olarak TDY değerlerindede ani düşüşler gözlenmiştir. Düşük dalma derinliklerinde oluşan vortekslerin pompanın çıkış basıncını etkilediği görülmektedir. Yapılan benzer çalışmalarda, yetersiz dalma derinliklerinde vorteks oluşma riskinin bulunduğunu ve emme hattına hava girişinin olabileceğini, böylece pompa veriminde azalmalar görülebileceğini Karassik ve ark.,(1986), Yildirim ve Kocabaş (1998) ve Hanson (2000) araştırmalarında açıklamışlardır.

4.7. Dalgıç Pompalarda Farklı Anma Çapı ve Kesit Alanı Değişiminin Bazı Parametrelere Etkisi

Araştırmada dalgıç pompaların farklı anma çapları ve kesit alanlarında kuyuda meydana gelen düşüm (Δ), kuyu içindeki gürültü seviyesi (G), şebekeden çekilen güç (N), toplam dinamik yükseklik (TDY), v_1 ve v_2 hız parametrelerine etkisi incelenmiştir.

4.7.1. Dalgıç pompalarda besleme boruların tam açık konumunda anma çapı ve giriş kesit alanının düşüme etkisi

Dalgıç pompalarda kuyu besleme borularının tam açık olduğu konumda ve üç anma çapında kuyuda meydana gelen düşüm (Δ) seviyeleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Dalgıç pompalarda elde edilen düşüm değerleri (mm)

Q	D_1			D_2			D_3		
(m^3h^{-1})	KA_1	KA_2	KA_3	KA_1	KA_2	KA_3	KA_1	KA_2	KA_3
40	290	290	290	350	340	330	340	360	350
45	360	365	370	-	-	-	-	-	-
50	440	450	430	520	530	520	-	-	-
55	530	530	520	-	-	-	-	-	-
60	620	630	610	730	760	730	730	740	720
70	-	-	-	980	1010	980	-	-	-
80	-	-	-	1240	1300	1240	1230	1270	1240
90	-	-	-	-	-	-	1560	1590	1580

Çizelge 4.3 incelenmesiyle, pompaların kesit alanlarının tümünde, debi değeri attıkça düşüm değerleri yükselme eğilimi göstermiştir. Sabit debi ve giriş kesit alanlarında dalgıç pompaların anma çapı D_1'den ve D_3'e büyüdüğünde kuyuda meydana gelen düşüm genel olarak artmıştır.

Dalgıç pompaların tüm akışın görüldüğü 40 ve 60 $m^3\ h^{-1}$ debi değerlerinde elde edilen düşüm seviyeleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4'deki düşüm değerlerine varyans analizi yapılmış ve elde edilen sonuçları Ek Çizelge 27'de verilmiştir. Ek Çizelgenin incelenmesiyle debi x kesit alanı interaksiyonları hariç seçilen tüm parametreler ve interaksiyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($P<0.01$).

Çizelge 4.4. Dalgıç pompaların 40 ve 60 $m^3 h^{-1}$ debi değerlerinde elde edilen düşüm seviyeleri

		Düşüm seviyeleri (mm)			
Q (m^3h^{-1})	KA	D_1	D_2	D_3	Debi ortalaması
40	KA_1	287.4 $_{j}$	347.0 $_{h}$	340.2 $_{hı}$	326.1 $_{b}$
	KA_2	290.0 $_{j}$	339.6 $_{hı}$	359.7 $_{g}$	
	KA_3	291.0 $_{j}$	331.3 $_{ı}$	349.1 $_{h}$	
60	KA_1	622.7 $_{e}$	731.7 $_{bc}$	728.6 $_{dc}$	696.5 $_{a}$
	KA_2	630.7 $_{e}$	758.9 $_{a}$	738.9 $_{b}$	
	KA_3	600.5 $_{f}$	738.0 $_{bc}$	719.5 $_{d}$	
		LSD=0.9930			*LSD=0.455*
Pompa ort.		453.7 $_{c}$	541.0 $_{a}$	539.3 $_{b}$	
		LSD =0.4045			

Dalgıç pompalar arasında en az düşüm 287.4 mm değeri ile D_1 pompasında, en fazla düşüm 758.9 mm değeri ile D_2 pompasında görülmüştür. Çizelge 4.4'ün incelenmesiyle bu düşüm değerleri arasında istatistiksel olarak bir farklılık olduğu anlaşılmaktadır. Debi değerleri, varyans analizi sonucunda karşılaştırıldığında en yüksek düşüm 696.5 mm değeriyle 60 $m^3 h^{-1}$ debi değerinde elde edilmiştir. Besleme kesit ağzı alanlarında en yüksek düşüm değeri KA_2'de elde edilirken, diğer kesit alanları ile arasında istatistiki olarak bir farklılık saptanmıştır (Ek Çizelge 10). İkili interaksiyon sonuçları Ek Çizelge 11 ve 12 verilmiştir. Üçlü interaksiyonlarda en yüksek düşüm değeri 60 $m^3 h^{-1}$ debi değerinde D_2KA_2 kombinasyonunda elde edilmiştir. Bu değerin diğer interaksiyonlarla arasında istatistiksel yönden bir farklılık olduğunu söyleyebiliriz.

4.7.2. Dalgıç pompalarda anma çapı ve giriş kesit alanının gürültü seviyesine etkisi

Dalgıç pompalarda kuyu besleme borularının tam açık olduğu konumda ve farklı anma çaplarında kuyuda meydana gelen gürültü seviyeleri (G) Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Dalgıç pompalarda anma çapı kesit alanı ve debinin gürültü seviyesine (dBA) etkisi

Q	D_1			D_2			D_3		
(m^3h^{-1})	KA_1	KA_2	KA_3	KA_1	KA_2	KA_3	KA_1	KA_2	KA_3
40	73.24	75.84	74.20	75.45	75.72	78.45	65.87	66.99	66.87
45	72.20	73.86	73.05	-	-	-	-	-	-
50	69.97	71.42	71.93	78.26	76.22	77.79	-	-	-
55	69.93	73.60	74.00	-	-	-	-	-	-
60	71.59	73.11	74.46	79.05	75.88	77.18	71.22	72.28	70.25
70	-	-	-	76.15	77.71	76.41	-	-	-
80	-	-	-	74.57	77.66	77.58	72.32	76.12	72.14
90	-	-	-	-	-	-	73.85	73.59	72.14

Gürültü değerleri 65.8 dBA ile 79.05 dBA aralığında bir değişim göstermiştir.

Dalgıç pompaların tüm akışın görüldüğü 40 ve 60 m^3 h^{-1} debi değerlerinde elde edilen gürültü seviyeleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Dalgıç pompa anma çaplarına 40 ve 60 m^3 h^{-1} debi değerlerine varyans analizi yapılmış ve elde edilen sonuçları Ek Çizelge 30'da verilmiştir. Ek Çizelgenin incelenmesiyle seçilen parametreler ve interaksiyonları istatistiksel olarak %1 seviyesinde anlamlı bir ilişki bulunmuştur.

Çizelge 4.6. Dalgıç pompaların 40 ve 60 m^3 h^{-1} debi değerlerinde elde edilen gürültü değerleri

		Gürültü değerleri (dBA)			
Q (m^3h^{-1})	KA	D_1	D_2	D_3	Debi ortalaması
40	KA_1	73.242 $_{e}$	75.454 $_{c}$	65.878 $_{ı}$	72.524 $_{b}$
	KA_2	75.905 $_{c}$	75.719 $_{c}$	66.988 $_{h}$	
	KA_3	74.213 $_{d}$	78.446 $_{a}$	66.872 $_{h}$	
60	KA_1	71.585 $_{f}$	79.051 $_{a}$	72.232 $_{f}$	74.004 $_{a}$
	KA_2	73.162 $_{e}$	75.879 $_{c}$	72.279 $_{f}$	
	KA_3	74.416 $_{d}$	77.180 $_{b}$	70.251 $_{g}$	
		LSD=0.6330			*LSD=0.456*
Pompa ort.		73.754 $_{b}$	76.955 $_{a}$	69.083 $_{c}$	
		LSD=0.3094			

Dalgıç pompalar arasında en fazla gürültü seviyesi 79.05 dBA değeri D_2 pompasında, en az ise 65.87 dBA değeri ile D_3 pompasında görülmüştür. Gürültü değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.6). Varyanas analizi sonucu kesit ağzı alanı değerleri incelendiğinde KA_3'de en yüksek gürültü seviyesinin elde edildiği ve diğer besleme ağzı giriş kesit alanlarına ait değerler ile arasında istatistiki olarak bir farklılık belirlenmemiştir (Ek Çizelge 13). İkili interaksiyon sonuçları Ek Çizelge 14, 15 ve 16'da verilmiştir. Üçlü interaksiyon incelendiğinde en yüksek gürültü değerinin D_2KA_3 kombinasyonunda 40 m^3 h^{-1} debi değerinde ve D_2KA_1 kombinasyonunda 60 m^3 h^{-1} elde edildiği görülmektedir. Bu değerlerin diğer interaksiyonlarla arasında istatistiksel yönden bir farklılık olduğu, ancak kendi aralarında ise istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin bulunmadığını söyleyebiliriz. Gürültü seviyesinin 65.87 dBA değeri ile en düşük D_3 pompasında görülmüştür.

4.7.3. Dalgıç pompalarda anma çapı ve giriş kesit alanının güç (N) üzerine etkisi

Dalgıç pompalarda kuyu besleme borularının tam açık olduğu konumda ve üç anma çapında ölçülen şebekeden çekilen güç (N) değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Dalgıç pompalarda anma çapı, kesit alanı ve debinin şebekeden çekilen güce (kW) etkisi

Q	D_1			D_2			D_3		
(m^3h^{-1})	KA_1	KA_2	KA_3	KA_1	KA_2	KA_3	KA_1	KA_2	KA_3
40	4.30	4.37	4.33	4.86	4.84	4.91	5.80	5.75	5.81
45	4.38	4.48	4.44	-	-	-	-	-	-
50	4.51	4.50	4.51	5.45	5.42	5.49	-	-	-
55	4.53	4.53	4.47	-	-	-	-	-	-
60	4.45	4.51	4.42	5.91	5.91	5.91	6.65	6.62	6.64
70	-	-	-	6.28	6.28	6.23	-	-	-
80	-	-	-	6.58	6.60	6.49	7.35	7.20	7.34
90	-	-	-	-	-	-	7.54	7.36	7.52

Sabit debilerdeki güç tüketimi üzerinde kesit alanının etkisi hususunda net bir kanaat belirtmenin mümkün olmadığı ifade edilebilir.

4.7.4. Dalgıç pompalarda anma çapı ve giriş kesit alanının toplam dinamik yükseklik (TDY) üzerine etkisi

Pompaların farklı anma çapları (D_1, D_2 ve D_3), girişi kesit alanları (KA_1, KA_2 ve KA_3) ve debilerinde (Q) hesaplanan toplam dinamik yükseklik değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Pompalarda debi değerinin artması ile TDY değerleri azalmıştır. Bu değişimin pompaların TDY-Q karakteristiğine uygun davrandığı yönünde değerlendirilmiştir. Yüksek debilerde pompa anma çapı arttıkça TDY'de artış göstermiştir.

Çizelge 4.8. Dalgıç pompalarda anma çapı kesit alanı ve debinin TDY (kPa) üzerine etkisi

Q	D_1			D_2			D_3		
(m^3h^{-1})	KA_1	KA_2	KA_3	KA_1	KA_2	KA_3	KA_1	KA_2	KA_3
40	165.27	166.43	164.51	145.65	147.47	149.19	202.5	209.23	200.97
45	152.87	152.81	152.63	-	-	-	-	-	-
50	140.83	140.19	140.47	138.21	137.69	139.81	-	-	-
55	128.25	125.55	124.55	-	-	-	-	-	-
60	110.49	108.26	107.76	126.80	122.91	127.26	180.65	187.84	179.91
70	-	-	-	113.56	111.74	113.69	-	-	-
80	-	-	-	102.59	96.58	99.94	160.58	161.37	156.62
90	-	-	-	-	-	-	146.86	145.75	145.56

4.7.5. Dalgıç pompalarda anma çapı ve giriş kesit alanının v_1 ve v_2 hızlarına etkisi

Dalgıç pompalarda ölçülen v_1 ve v_2 hız değerleri sırasıyla Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Dalgıç pompalarda anma çapı, kesit alanı ve debinin v_1 hızına (ms^{-1}) etkisi

Q	D_1			D_2			D_3		
(m^3h^{-1})	KA_1	KA_2	KA_3	KA_1	KA_2	KA_3	KA_1	KA_2	KA_3
40	0.21	0.21	0.21	0.22	0.22	0.22	0.32	0.32	0.32
45	0.23	0.23	0.23	-	-	-	-	-	-
50	0.26	0.26	0.26	0.29	0.29	0.29	-	-	-
55	0.28	0.28	0.28	-	-	-	-	-	-
60	0.32	0.32	0.32	0.35	0.35	0.35	0.48	0.48	0.48
70	-	-	-	0.42	0.42	0.42	-	-	-
80	-	-	-	0.48	0.48	0.48	0.64	0.64	0.64
90	-	-	-	-	-	-	0.72	0.72	0.72

Dalgıç pompa anma çapı ve giriş kesit alanlarında debi attıkça v_1 hızı yükselmiştir. Pompaların sabit debi değerlerinde kesit alanının artması v_1 hızı üzerinde etkili olmamıştır. Ancak sabit debilerde pompa anma çapının artması teçhiz borusu ile pompa grubu anma çapı arasında kalan halkanın alanını azalttığından her üç kesit alanında v_1 hızı değerlerini artırmıştır.

Çizelge 4.10. Dalgıç pompalarda anma çapı, kesit alanı ve debinin v_2 hızına (ms^{-1}) etkisi

Q	D_1			D_2			D_3		
(m^3h^{-1})	KA_1	KA_2	KA_3	KA_1	KA_2	KA_3	KA_1	KA_2	KA_3
40	2.93	2.31	1.93	1.52	1.21	1.02	0.83	0.67	0.56
45	3.29	2.61	2.16	-	-	-	-	-	-
50	3.65	2.90	2.41	1.90	1.52	1.29	-	-	-
55	4.02	3.19	2.64	-	-	-	-	-	-
60	4.44	3.48	2.87	2.29	1.84	1.54	1.23	0.99	0.84
70	-	-	-	2.67	2.14	1.79	-	-	-
80	-	-	-	3.05	2.44	2.04	1.65	1.32	1.11
90	-	-	-	-	-	-	1.85	1.49	1.25

Çizelge 4.10 incelendiğinde dalgıç pompa anma çapı ve giriş kesit alanlarında debi attıkça v_2 hızı değerleri yükselmiştir. Sabit debilerde pompa emme ağzı giriş kesit alanının artması v_2 hızını azaltmıştır. Benzer şekilde aynı debi değerinde pompa anma çapının arttıkça, tüm kesit alanlarında v_2 hızları küçülmüştür. Bunun nedeni v_2 hızının pompa su girişi ağzından ölçülmesine ve büyük anma çaplı pompaların giriş kesitlerinin daha büyük olması ile açıklanabilir. Bu sonuç da akışın daimi ve akışın kütlenin korunumu kanununa uygun davrandığını göstermektedir.

4.8. Dalgıç Pompalarda Kritik ve Vorteks Dalma Derinliği İle Matematiksel İlişkisi

Dalgıç pompalarda orijinal kesit alanlarında, farklı debilerde ölçülen kritik (S_k) ve vorteks oluşma (S_v) dalma derinliklerinin geliştirilen matematiksel denklem ile hesaplanan (S_h) kritik dalma derinlikleri arasındaki ilişkiler Çizelge 4.11'de verilmiştir.

$$S_h \geq (A_k/A_h)*(1/g)*v_2^2 \quad (4.1)$$

Geliştirilen matematiksel eşitliğin (4.1) su giriş kesit alanları ile herhangi bir ilişkisi bulunmamaktadır. Bu yüzden pompanın orijinal kesit alanlarında hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 4.11. Dalgıç pompalarda ve farklı debilerde S_k, S_v ile S_h ilişkisi

	Q (m^3h^{-1})	S_k (mm)	S_v (mm)	S_h (mm)
	40.0	260	25	43
	45.1	325	45	55
D_1KA_2	50.1	390	45	67
	55.2	515	90	82
	60.1	590	75	97
	39.2	60	50	26
	49.2	100	50	40
D_2KA_2	59.7	155	65	58
	69.3	220	50	79
	79.1	295	110	102
	40.3	20	60	19
	59.9	45	70	42
D_3KA_2	80.1	75	75	75
	89.9	90	160	95

Çizelge 4.11'in incelenmesiyle pompa giriş basıncı ölçümüne göre belirlenen kritik dalma derinliğinin (S_k) D_1 ve D_2 pompalarında oldukça güvenli bölgede (vorteksin oluşmadığı) gerçekleştiği görülürken, D_3 pompası S_k değeri güvenli bölgenin altında, başka bir deyişle vorteks bölgesinde çalıştığı görülmektedir. Bunun dışında gerek S_k gerekse S_h kritik dalma derinlikleri sabit debi de pompa anma çapı büyüdükçe genelde azaldıkları görülmüştür. Ayrıca D_3 pompasında Sk ve Sh değerlerinin birbirine oldukça yakın çıktığı görülmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Derin kuyu pompalarının emiş ağzı düzlemi üzerinde pompa performans değerlerinin azalmasına izin vermeyecek seviyede bir su yükünün korunması, pompaj ekonomikliği ve makine emniyeti bakımından önemlidir. Bu yüzden vorteks oluşumundan önceki kuyudaki güvenli su yükünün kritik dalma derinliğinin doğru ve basit bir şekilde belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada uygulanan P_e ölçüm yöntemi ile derin kuyu pompalarında kritik dalma derinliğinin doğru olarak belirlenebileceği görülmüştür.

Kritik dalma derinliği aynı pompa boyutlarında debi arttıkça artmaktadır. Bu değişim D_1KA_2 kombinasyonunda her bir debi artışında kritik dalma derinliğinde %8-25 arasında artış göstermiştir. Bu artışlar D_2KA_2 kombinasyounda %24 ile %38 arasında, D_3KA_2'de ise %20 ile %62 arasında olmuştur. Aynı dalma derinliği için daha büyük debiler ve çaplara sahip pompaların kullanılabileceği söylenebilir.

Kritik dalma derinliği, suyun pompaya giriş hızı dolayısıyla pompa anma boyutu ve çapı ile ters ilişkili olarak değişmiştir. Aynı debi değerlerinde küçük anma çaplı pompalar büyük anma çaplı pompalara göre kritik dalma derinlikleri daha yüksek çıkmıştır.

Pompaların aynı anma çaplarında ve debi değerlerinde su giriş kesit alanlarının büyümesi kritik dalma derinlikerini düşürmüştür. Pompaların aynı debi değerinde küçültülmüş su giriş kesit alanlarında ölçülen kritik dalma derinliği değerlerinin 0.34 ile 0.67 katı arasında değişen oranlarda kesit alanının büyümesi ile kritik dalma derinliğinin azaldığı saptanmıştır.

Kritik dalma derinliği vorteks oluşma dalma derinliğinden 5 ila 10 kat daha büyük dalma derinliklerinde gerçekleşmiştir. Büyük anma çaplı pompaların küçük debi değerlerinde (40-60 $m^3\ h^{-1}$) ise kritik dalma derinliği vorteks oluşma dalma derinliği seviyesinin altında kalmıştır.

Pompaların farklı anma çaplarında, aynı seviyedeki düşük dalma derinliklerinde oluşan su hareketleri (dalgalanma) farklılık göstermiştir. Bu farklılık üzerine kuyu kesit alanı, hız ve giriş basıncı (P_e) değişimleri etkili olmuştur.

Dalgıç pompaların düşüm değerleri üzerinde yapılan istatistikî analiz sonucunda üçlü interaksiyonları (pompa x kesit alanı x debi) istatistiki olarak ($P<0.01$) önemli

bulunmuştur. Sabit debi ve giriş kesit alanlarında pompaların anma çapı büyüdüğünde, çalışmada ele alınan kuyu çapının sabit olması nedeniyle kuyuda meydana gelen düşüm değerleride genel olarak artmıştır.

Dalgıç pompa kombinasyonlarının sabit debi değerlerinde dalma derinliğinin düşürülmesi ile gürültü seviyesinin genellikle dalgalı bir seyir izlediği görülmüştür. Ancak vorteks oluşma dalma derinliklerinde gürültü sevilerinde ani yükselmeler görülmüştür. Bu bağlamda çok hassas ve dış etkenlerden arındırılmış koşullarda yapılabilecek gürültü seviyesi ölçümleri ile kritik ve vorteks oluşma dalma derinliklerinin daha sağlıklı olarak tespit edilmesinde bir ölçüt olacağı değerlendirilmiştir. Dalgıç pompaların tüm kombinasyonlarında farklı dalma derinliği seviyelerinde oluşan gürültü düzeylerinin ortalamaları 70.08 dBA ile 78.8 dBA arasında değişmiştir. Pompaların ortak debi değerlerinde (40-60 m^3 h^{-1}) ve kuyu besleme borularının tam açık olduğu konumda ölçülen gürültü seviyelerinin üçlü interaksiyonları (pompa x kesit alanı x debi) istatistiki olarak ($P<0.01$) önemli bulunmuştur.

Pompaların tüm kombinasyonlarında ve sabit debi değerlerinde vorteks oluşma dalma derinliği civarında şebekeden çekilen güç değerlerinde ani düşüşler görülmüştür. Bu bağlamda gürültü seviyesi ölçümleri gibi güç tüketim değerlerinin de kritik ve vorteks oluşma dalma derinliklerinin daha sağlıklı olarak tespit edilmesinde bir ölçüt olabileceği söylenebilir.

Tüm pompalarda anma çapı ve debi arttıkça v_1 hızları da artmıştır. Pompa anma çapı arttıkça v_2 hızları artan pompa giriş kesit alanlarının daha büyük olmasından dolayı aynı debilerde daha küçük v_2 hızlarında çalışmıştır.

Deney düzeneğinin durumu pompa kademe sayısı ve performansına göre deneylerde pompaların geliştirdiği TDY değerinin yaklaşık %90-95'lik kısmı pompa çıkış basıncı bileşeninden oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre sabit debi değerlerinde tıpkı şebekeden çekilen güç değerlerinde olduğu gibi gerek toplam dinamik yükseklik (TDY) gerekse pompa çıkış basıncı (P_b) değerleri vorteks oluşma dalma derinliği civarında ani azalmalar göstermiştir.

Bu bakımdan TDY ve P_b değerlerindeki azalmalar santrifüj pompalardaki $ENPY_3$'e benzer şekilde derin kuyu pompalarındaki vorteks dalma derinliği ve buna bağlı kritik dalma derinliğinin belirlenmesi için bir ölçüt geliştirilebileceği söylenebilir. P_b değerlerinde de çok küçük dalma derinliklerinde ani azalmalar görülmüştür.

Artan debi değerlerinde TDY ve P_b değerlerindeki azalmalar ise pompa karakteristik eğrileri ile ilişkili olmuştur. Bunu dengeleyen unsur artan debilerde hız enerjisi ve düşüm değerlerine bağlı dinamik seviyenin yükselmesi olmaktadır.

Pe değerleri, artan debi ve azalan dalma derinliği ile artış göstermiştir. Ancak artan pompa anma çaplarında aynı debi için daha küçük Pe değerleri ölçülmüştür.

5.2. Öneriler

Uygulamada pompaların kuyuya yerleştirilmesinde, dalma derinlikleri çok yüksek tutulmaktadır. Dalma derinliği seviyesinin düşük olması, sadece vorteks oluşması esnasında pompada verim kayıplarının olacağını göstermiştir. Bu yüzden pompaların montajın esnasında metrelerce derinlikte suyun altında çalışmasına gerek olmadığı ortaya çıkmıştır. Sabit kuyu donanımı ve besleme şartlarında, pompaların montajı esnasında dinamik dalma derinliği seviyesini 2-3 m alarak yerleştirmesi pompanın emniyetli çalışması açin ideal olabilir.

Kuyu donanımı ve beslemesi sabit olmak koşuluyla, kuyu çapı ve pompa anma çapı arasındaki ilişki kritik dalma derinliği için önemli bir parametre olduğu ortaya çıkmıştır.

Derin kuyu pompalarının çalışması esnasında dalma derinlikleri seviyelerindeki düşümler ve bu esnada pompanın hava emişi yaptığını gürültü ve güç tüketim değerlerinin ölçülmesiyle de belirlenebileceği saptanmıştır. Bu bağlamda metrelerce derinlikte çalışan pompaların düzenli olarak gürültü ve güç tüketim değerlerinin takibi ile dalma derinliği seviyelerinin kontrolü sağlanabilir.

Pompalarda farklı dalma derinlikleri seviyelerinde pompaya su girişinde oluşan akışın yönleri farklı olmaktadır. Akış yönünü belirlemek ve oluşan vorteksleri görüntülemek için parçacık görüntüleme kameraları (PIV) kullanılarak hem pompanın suya giriş yöleri hem de oluşan vorteksler daha ayrıntılı sınıflandırılabilir.

Bu çalışmanın yapıldığı test ünitesinde 4" ve 6" kuyu besleme boruları büyük anma çaplı pompalarda yetersiz olduğu görülmüştür. Test ünitesinin kuyu besleme boruları büyültülerek büyük anma çaplı pompalar için de kriterler ortaya konabilir.

KAYNAKLAR

Ahmad, Z., Rao, K. ve Mittal, M., 2004, Critical submergence for horizontal intakes in open channel flows, *Dam Engineering*, 19 (2), 72.

Anonim, 1998, American national standard for pump ıntake design, Hydraulic Institu, New Jersey. ANSI/HI 9.8.

Anonim, 2002, Rotodinamik pompalar–hidrolik performans kabul deneyleri,sınıf 1 ve sınıf 2. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara. TS EN ISO 9906.

Anonim, 2014, Pompalar-dalgıç-temiz su için, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara. TS 11146.

Anonim, 2016, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2016 Yılı Faliyet Raporu, *Ankara*.

Borghei, S. ve Kabiri-Samani, A., 2010, Effect of anti-vortex plates on critical submergence at a vertical intake, *Scientia Iranica. Transaction A, Civil Engineering*, 17 (2), 89.

Budea, S. ve Ciocanea, A., 2008, The ınfluence of the suctıon vortex over the npsh avaılable of centrıfugal pumps, *5th National Conference of Romanian Hydropower Engineers*, Romanian, 157-166.

Čdina, M., 2003, Detection of cavitation phenomenon in a centrifugal pump using audible sound, *Mechanical systems and signal processing*, 17 (6), 1335-1347.

Christiansen, C., 2005, Pumping from shallow streams 2.

Ciocanea, A., 2013, Method for mitigating the negative effect of vortex motion inside the suction chambers of centrifugal pumps, *INCAS Bulletin*, 5 (3), 37.

Čudina, M. ve Prezelj, J., 2009, Detection of cavitation in operation of kinetic pumps. Use of discrete frequency tone in audible spectra, *Applied Acoustics*, 70 (4), 540-546.

Culver, G. ve Rafferty, K. D., 1998, . Well Pumps, *Geo-Heat Center, Klamath Falls, OR*.

Çalisir, S., 2007, The evaluation of performance and energy usage in submersible deep well irrigation pumping plants, *Agrıcultural Mechanızatıon In Asıa Afrıca And Latın Amerıca*, 38 (1), 9.

Çalışır, S. ve Konak, M., 1998, Konya bölgesinde bazı derin kuyu pompaj tesislerinde başarı derecesinin saptanması, *3. Pompa Kongresi*, İstanbul, 69-76.

Çengel, Y. A. ve Cimbala, J. M., 2008, Akışkanlar mekaniği: temelleri ve uygulamaları, Güven Kitabevi, p. 100-150.

Değer, T., 2005, Pompalarda kavitasyon ve NPSH karakteristiğinin deney ve sonlu hacimler yöntemi ile incelenmesi, *Ege Üniversitesi*.

Düzgüneş, O., Kesici, T. ve Kavuncu, O., 1983, F GÜRBÜZ, Araştırma ve Deneme Metodları (İstatistik Metodları-II) *Ankara Üniversitesi Zir. Fak. Yayınları*, 1021.

Eryılmaz, T. ve Çalışır, S., 2004, Sulamada kullanılan santrifüj pompalarda kavitasyon karakteristiklerinin belirlenmesi, *SÜ BAP Proje* (2002/163).

Fabrin, A., 1953, Vertical short-coupled turbine pumps, *Journal (American Water Works Association)*, 45 (10), 1045-1059.

Fais, L. M. C. F. ve Genovez, A. I. B., 2009, Analyses of minimum submergence and air discharge in vertical shafts with different ınlets, *Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering*, 2047-2052.

Gülcan, S. C., 1999, Ölü sonlu kanal akımındaki su alma ağzı için kritik batıklık, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, 1-40.

Gürbüzdal, F., 2009, Scale effects on the formation of vortices at intake structures, *M. Sc. degree, scienc civil engineering, middle east technial University*.

Hanson, B., 2000, Irrigation pumping plants (uc ırrigation and drainage specialist), *Department of Land, Air and Water Resources, University of California, Davis*.

Hofmann, M., Stoffel, B., Friedrichs, J. ve Kosyna, G., 2001, Similarities and geometrical effects on rotating cavitation in two scalted centrifugal pumps, *http://resolver. caltech. edu/cav2001: sessionB8. 001*.

Jain, A. K., Garde, R. J. ve Ranga Raju, K. G., 1978, Vortex formation at vertical pipe intakes, *Journal of the Hydraulics Division*, 104 (10), 1429-1445.

Jensen, J. ve Dayton, K., 2000, Detecting cavitation in centrifugal pumps, *ORBIT, Second quarter*.

Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P. ve Heald, C., 1986, Pump handbook, McGraw-Hill New York,

Kleynhans, S., 2012, Physcial hydraulic model investigation of critical submergence for raised pump intakes, *Stellenbosch: Stellenbosch University*.

Kocabaş, F., Ünal, B., Ünal, S., Fedakar, H. İ. ve Gemici, E., 2013, Fuzzy genetic approach for modeling of the critical submergence of an intake, *Neural Computing and Applications*, 23 (1), 73-82.

KSB., 2005, Selecting centrifugal pumps. Frankenthal (Germany), KSB Aktiengesellschaft. V5.

Li, H.-f., Chen, H.-x., Zheng, M. ve Yi, Z., 2008, Experimental and numerical investigation of free surface vortex, *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 20 (4), 485-491.

Lucino, C. ve Gonzalo Dur, S., 2010, Vortex detection in pump sumps by means of CFD, *XXIV Latin American Congress on Hydraulics, Punta Del Este, Uruguay, Nov*, 21-25.

Maxime, B. ve Chen Li, F., 2015, Cavitation effects in centrifugal pumps-A review, *Int. Journal of Engineering Research and Application*, 10, 8.

Möller, G., 2013, Vortex-induced air entrainment rate at intakes.

Nagahara, T., Sato, T. ve Okamura, T., 2001, Effect of the submerged vortex cavitation occurred in pump suction intake on hydraulic forces of mixed flow pump impeller, *http://resolver. caltech. edu/cav2001: sessionB8. 006.*

Nagahara, T., Sato, T., Okamura, T. ve Iwano, R., 2003, Measurement of the flow around the submerged vortex cavitation in a pump intake by means of PIV, *Fifth International Symposium on Cavitation*, 1-7.

Okamura, T., Kamemoto, K. ve Matsui, J., 2007, CFD prediction and model experiment on suction vortices in pump sump.

Okoro, B., 2013, Pump functional response at air-entraining vortex occurrence, *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering* 5(8), 458-465.

Paugh, J., 2001, How to compute net positive suction head for centrifugal pumps, Warren Pumps, Richmond.

Rindels, A. J. ve Gulliver, J. S., 1983, An experimental study of critical submergence to avoid free-surface vortices at vertical intakes, *University of Minnesota*.

Savva, A. P. ve Frenken, K., 2002, Irrigation manual planning, development monitoring and evaluation of irrigated agriculture with farmer participation, FAO.

Schiavello, B., Smith, D. R. ve Price, S. M., 2004, Abnormal vertical pump suction recirculation problems due to pump-system interaction, *Proceedings of the twenty-first international pump users symposium*, 18-47.

Schulz, H., 1977, Die Pumpen Arbeitsweise. Berechnung, *Konstruktion*, 13.

Tezer, E., 1978, Sulamada Pompaj Tesisleri, ÇÜ Ziraat Fak, *Adana*.

Yildirim, N. ve Kocabaş, F., 1995, Critical submergence for intakes in open channel flow, *Journal of hydraulic engineering*, 121 (12), 900-905.

Yildirim, N. ve Kocabaş, F., 1998, Critical submergence for intakes in still-water reservoir, *Journal of Hydraulic Engineering*, 124 (1), 103-104.

Yong, W., Houlin, L., Shouqi, Y., Minggao, T. ve Kai, W., 2012, Experimental testing on cavitation vibration and noise of centrifugal pumps under off-design conditions, *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012 (2).

EKLER

Ek-1 Çizelgeler-Deney Sonuçları

Ek Çizelge 1. D_1 anma çapında ve KA_1 kesit alanı seviyesinde elde edilen veriler

Q ($m^3 h^{-1}$)	S (mm)	Δ (mm)	G (dBA)	N (kW)	v_1(m s^{-1})	v_2(m s^{-1})	Pb (kPa)	Pe (kPa)
40.17±0.005	1590±1.3	290±1.3	73.24±0.19	4.29±0.001	0.21±0.001	2.93±0.001	149.38±0.15	11.31±0.013
39.95±0.007	1405±3.5	475±3.5	70.75±0.14	4.29±0.001	0.21±0.001	2.92±0.001	147.29±0.16	9.54±0.035
40.28±0.007	430±4.9	1450±4.9	71.82±0.15	4.30±0.001	0.22±0.001	2.94±0.001	136.47±0.17	-0.09±0.05
39.95±0.008	40±1.4	1840±1.4	69.96±0.1	4.28±0.001	0.21±0.001	2.92±0.001	133.40±0.16	-3.85±0.014
39.30±0.011	20±1.1	1860±1.1	79.83±0.22	4.25±0.002	0.21±0.001	2.87±0.001	132.96±0.2	3.91±0.011
44.98±0.008	**1520±4.2**	**360±4.2**	**72.19±0.16**	**4.37±0.002**	0.24±0.001	**3.28±0.001**	**135.19±0.14**	**9.53±0.044**
45.04±0.007	**1300±4.3**	**580±4.3**	**73.66±0.24**	**4.37±0.002**	0.24±0.001	**3.29±0.001**	**132.82±0.19**	**7.36±0.046**
45.08±0.007	**425±2.9**	**1455±2.9**	**72.14±0.15**	**4.38±0.002**	0.24±0.001	**3.29±0.001**	**123.64±0.14**	**-1.23±00031**
44.74±0.006	**70±2**	**1810±2**	**70.58±0.1**	**4.37±0.002**	0.24±0.001	**3.27±0.001**	**121.79±0.18**	**-4.63±0.021**
44.71±0.007	**55±2.6**	**1825±2.6**	**70.45±0.1**	**4.37±0.001**	0.24±0.001	**3.26±0.001**	**121.38±0.18**	**-4.77±0.027**
43.38±0.022	**20±3.4**	**1860±3.4**	**81.36±0.13**	**4.30±0.002**	0.23±0.001	**3.17±0.001**	**117.56±0.32**	**-4.81±0.036**
50.11±0.009	1440±1	440±1	69.96±0.14	4.51±0.001	0.27±0.001	3.66±0.001	121.06±0.13	7.45±0.01
50.12±0.009	1150±4.8	730±4.8	69.13±0.08	4.516±0.002	0.27±0.001	3.66±0.001	117.82±0.14	4.61±0.05
50.05±0.007	900±2.1	980±2.1	70.83±0.1	4.51±0.001	0.27±0.001	3.65±0.001	115.74±0.17	2.17±0.023
50.12±00008	120±3.8	1760±3.8	70.99±0.1	4.50±0.001	0.27±0.001	3.66±0.001	107.43±0.19	-5.5±0.04
50.02±0.009	30±0.51	1850±0.51	70.48±0.09	4.50±0.001	0.27±0.001	3.65±0.001	107.63±0.2	-6.35±0.005
48.77±0.025	20±0.8	1860±0.8	81.46±0.11	4.43±0.002	0.26±0.001	3.56±0.001	103.90±0.3	-6.12±0.009
55.08±0.007	**1350±2.6**	**530±2.6**	**69.93±0.11**	**4.53±0.001**	0.29±0.001	**4.02±0.001**	**106.20±0.08**	**5.18±0.025**
55.03±0.009	**1160±3**	**720±3**	**68.18±0.09**	**4.52±0.001**	0.29±0.001	**4.02±0.001**	**103.61±0.2**	**3.33±0.029**
55.05±0.007	**860±4.5**	**1020±4.5**	**70.42±0.1**	**4.51±0.001**	0.29±0.001	**4.02±0.001**	**100.60±0.18**	**0.38±0.043**
55.04±0.022	**290±3.2**	**1590±3.2**	**69.99±0.07**	**4.51±0.001**	0.29±0.001	**4.02±0.001**	**95.24±0.19**	**-5.21±0.031**
55.11±0.024	**100±2.3**	**1780±2.3**	**71.50±0.16**	**4.51±0.001**	0.29±0.001	**4.02±0.001**	**92.40±0.19**	**-7.09±0.023**
55.05±0.021	**40±1.3**	**1840±1.3**	**70.28±0.13**	**4.52±0.001**	0.29±0.001	**4.02±0.001**	**91.85±0.18**	**-7.66±0.13**
49.55±0.057	**20±0.7**	**1860±0.7**	**83.49±0.1**	**4.18±0.003**	0.26±0.001	**3.62±0.001**	**77.81±0.4**	**-6.33±0.07**
60.06±0.011	1260±3.3	620±3.3	71.58±0.11	4.44±0.001	0.32±0.001	4.44±0.001	85.77±0.14	2.51±0.33
59.98±0.011	1120±4.1	760±4.1	70.26±0.11	4.44±0.002	0.32±0.001	4.44±0.001	84.99±0.2	1.15±0.41
59.97±0.01	870±2.3	1010±2.3	71.47±0.09	4.44±0.003	0.32±0.001	4.44±0.001	82.65±0.18	-1.3±0.23
60.08±0.01	420±1.9	1460±1.9	73.13±0.18	4.44±0.001	0.32±0.001	4.4±0.001	77.73±0.21	-5.71±0.19
60.09±0.008	150±1.8	1730±1.8	72.68±0.11	4.43±0.002	0.32±0.001	4.43±0.001	74.80±0.19	-8.31±0.18
59.95±0.006	60±2.6	1820±2.6	72.09±0.1	4.43±0.001	0.32±0.001	4.43±0.001	74.92±0.2	-9.21±0.26
59.90±0.007	50±2.5	1830±2.5	71.72±0.09	4.43±0.001	0.32±0.001	4.43±0.001	74.25±0.18	-9.28±0.25
56.40±0.05	20±0.7	1860±0.7	83.54±0.12	4.24±0.002	0.32±0.001	4.24±0.001	68.84±0.34	-8.75±0.08

Deney koşulları: S_{mak}: 1880 mm; H_s:890 mm; T_{hava}(^{0}C):25.7±0.15; T_{su} (^{0}C): 21.4±0.07; BN:%17±0.11.

Ek Çizelge 2. D_1 anma çapında ve KA_2 kesit alanı seviyesinde elde edilen veriler

Q ($m^3 h^{-1}$)	S (mm)	Δ (mm)	G (dBA)	N (kW)	V1(ms^{-1})	V2(ms^{-1})	Pb (kPa)	Pe (kPa)
40.02±0.008	1590±1.3	290±1.3	75.84±0.08	4.37±0.002	0.21±0.001	2.31±0.001	152.19±0.19	13.28±0.013
40.10±0.01	1305±0.8	575±0.8	74.97±0.16	4.37±0.001	0.21±0.001	2.32±0.001	149.48±0.21	10.35±0.008
40.07±0.009	870±2	1010±2	73.48±0.19	4.37±0.002	0.21±0.001	2.31±0.001	143.71±0.15	5.87±0.02
40.14±0.009	250±1	1630±1	72.73±0.11	4.36±0.002	0.21±0.001	2.32±0.001	138.74±0.09	-0.22±0.01
40.06±0.008	100±1.2	1780±1.2	70.73±0.08	4.38±0.002	0.21±0.001	2.31±0.001	136.95±0.19	-1.68±0.012
37.78±0.05	20±1.7	1860±1.7	82.29±0.16	4.19±0.004	0.20±0.001	2.18±0.001	126.85±0.55	-2.19±0.017
45.12±0.008	**1515±2.2**	**365±2.2**	**73.85±0.24**	**4.47±0.001**	0.24±0.001	**2.61±0.001**	**137.09±0.22**	**11.48±0.023**
45.17±0.009	**1310±1.7**	**570±1.7**	**73.35±0.16**	**4.47±0.002**	0.24±0.001	**2.61±0.001**	**135.30±0.12**	**9.46±0.018**
45.03±0.01	**780±4.7**	**1100±4.7**	**74.07±0.19**	**4.46±0.002**	0.24±0.001	**2.60±0.001**	**130.10±0.18**	**4.29±0.05**
45.17±0.009	**270±3.6**	**1610±3.6**	**72.23±0.1**	**4.47±0.002**	0.24±0.001	**2.61±0.001**	**125.57±0.24**	**-0.74±0.038**
45.01±0.008	**110±0.8**	**1770±0.8**	**72.45±0.18**	**4.46±0.001**	0.24±0.001	**2.60±0.001**	**123.92±0.11**	**-2.29±0.009**
44.93±0.011	**40±1.6**	**1840±1.6**	**72.29±0.43**	**4.45±0.002**	0.24±0.001	**2.60±0.001**	**123.81±0.18**	**-2.96±0.017**
34.92±0.1	**20±1.4**	**1860±1.4**	**82.62±0.08**	**3.43±0.003**	0.19±0.001	**2.02±0.001**	**69.03±0.32**	**-1.83±0.015**
50.12±0.009	1430±1.1	450±1.1	71.42±0.2	4.50±0.001	0.27±0.001	2.90±0.001	122.83±0.2	9.86±0.012
50.06±0.008	1195±1.5	685±1.5	72.17±0.16	4.50±0.001	0.27±0.001	2.89±0.001	120.27±0.18	17.56±0.016
50.13±0.009	810±1.8	1070±1.8	72.70±0.13	4.51±0.002	0.27±0.001	2.90±0.001	116.92±0.2	3.77±0.019
50.15±0.009	240±2.6	1640±2.6	73.04±0.15	4.51±0.002	0.27±0.001	2.90±0.001	110.37±0.21	-1.82±0.028
49.99±0.01	40±1.4	1840±1.4	72.16±0.57	4.50±0.001	0.27±0.001	2.89±0.001	109.16±0.2	-3.76±0.015
38.64±0.07	20±1.1	1860±1.1	82.59±0.12	3.49±0.004	0.21±0.001	2.23±0.001	60.28±0.37	-2.28±0.012
55.18±0.01	**1350±2**	**530±2**	**73.6±0.21**	**4.53±0.002**	0.29±0.001	**3.19±0.001**	**106.51±0.21**	**8.19±0.02**
54.25±0.57	**1140±2.1**	**740±2.1**	**71.98±0.15**	**4.53±0.001**	0.29±0.001	**3.13±0.001**	**105.35±0.16**	**6.3±0.02**
55.14±0.01	**970±3.6**	**910±3.6**	**73.60±0.2**	**4.55±0.002**	0.29±0.001	**3.19±0.001**	**102.54±0.18**	**4.47±0.035**
55.18±0.01	**440±3.6**	**1440±3.6**	**72.14±0.15**	**4.52±0.002**	0.29±0.001	**3.19±0.001**	**97.10±0.14**	**-0.71±0.035**
55.09±0.007	**240±1.3**	**1640±1.3**	**72.29±0.12**	**4.51±0.002**	0.29±0.001	**3.18±0.001**	**95.07±0.2**	**-2.69±0.013**
55.06±0.01	**90±0.8**	**1790±0.8**	**70.10±0.11**	**4.51±0.002**	0.29±0.001	**3.18±0.001**	**94.29±0.13**	**-4.15±0.007**
52.77±0.03	**20±1.4**	**1860±1.4**	**81.53±0.14**	**4.42±0.002**	0.28±0.001	**3.05±0.001**	**90.58±0.38**	**-4.43±0.013**
60.11±0.011	1250±3.4	630±3.4	73.10±0.17	4.51±0.002	0.32±0.001	3.47±0.001	87.30±0.24	6.26±0.03
60.09±0.01	1160±4.1	720±4.1	73.07±0.14	4.51±0.002	0.32±0.001	3.47±0.001	86.61±0.26	5.38±0.04
60.20±0.01	905±2.3	975±2.3	74.93±0.28	4.51±0.002	0.32±0.001	3.48±0.001	83.61±0.21	2.86±0.02
60.12±0.02	600±2	1280±2	71.61±0.14	4.52±0.002	0.32±0.001	3.47±0.001	80.61±0.2	-0.12±0.018
60.08±0.01	180±1.8	1700±1.7	74.63±0.26	4.50±0.001	0.32±0.001	3.47±0.001	76.84±0.21	-4.23±0.017
60.12±0.01	70±2.6	1810±2.6	72.10±0.1	4.53±0.001	0.32±0.001	3.47±0.001	75.79±0.22	-5.32±0.026
53.63±0.002	20±0.9	1860±0.9	83.91±0.02	4.15±0.001	0.29±0.001	3.10±0.001	63.46±0.04	-4.58±0.008

Deney koşulları: S_{mak}: 1880 mm; H_s:890 mm; T_{hava}(^{0}C):27.5±0.12; T_{su} (^{0}C): 23.0±0.04; BN:%19.0±0.18.

Ek Çizelge 3. D_1 anma çapında ve KA_3 kesit alanı seviyesinde elde edilen veriler

Q ($m^3 h^{-1}$)	S (mm)	Δ (mm)	G (dBA)	N (kW)	V1(m s^{-1})	V2(m s^{-1})	Pb (kPa)	Pe (kPa)
40.21±0.007	1590±4.7	290±4.7	74.2±0.13	4.33±0.001	0.21±0.001	1.92±0.001	151.07±0.21	13.77±0.04
40.28±0.01	1390±8.8	490±8.8	71.70±0.09	4.33±0.002	0.22±0.001	1.92±0.001.	149.11±0.2	11.8±0.08
40.15±0.009	550±3.1	1330±3.1	70.82±0.07	4.33±0.002	0.21±0.001	1.92±0.001	141.51±0.14	3.57±0.031
40.26±0.006	160±3.2	1720±3.2	70.32±0.15	4.33±0.002	0.21±0.001	1.92±0.001	136.38±0.18	-0.27±0.032
40.08±0.01	30±1.2	1850±1.2	71.81±0.6	4.33±0.001	0.21±0.001	1.91±0.001	136.45±0.22	-1.53±0.012
37.83±0.05	20±1	1860±1	81.01±0.1	4.15±0.003	0.21±0.001	1.85±0.001	124.86±0.6	-1.63±0.01
45.28±0.01	**1515±2.3**	**365±2.3**	**73.04±0.21**	**4.43±0.002**	0.24±0.001	**2.16±0.001**	**137.97±0.13**	**12.54±0.024**
45.12±0.004	**1335±1.5**	**545±1.5**	**72.61±0.11**	**4.42±0.002**	0.24±0.001	**2.16±0.001**	**136.45±0.21**	**10.79±0.06**
45.19±0.008	**910±4.3**	**970±4.3**	**69.94±0.16**	**4.44±0.002**	0.24±0.001	**2.16±0.001**	**132.73±0.14**	**6.61±0.046**
45.21±0.007	**160±1.2**	**1720±1.2**	**70.92±0.09**	**4.44±0.002**	0.24±0.001	**2.16±0.001**	**124.83±0.14**	**-0.75±0.012**
45.22±0.005	**40±1.7**	**1840±1.7**	**71.58±0.15**	**4.44±0.001**	0.24±0.001	**2.16±0.001**	**123.38±0.21**	**-1.92±0.018**
43.83±0.022	**20±0.7**	**1860±0.7**	**80.67±0.13**	**4.35±0.003**	0.23±0.001	**2.09±0.001**	**119.15±0.33**	**-1.98±0.007**
50.18±0.005	1450±4.9	430±4.9	71.92±0.1	4.51±0.001	0.27±0.001	2.40±0.001	124.62±0.2	11.37±0.05
50.12±0.008	1265±2.8	615±2.8	71.84±0.13	4.49±0.002	0.27±0.001	2.39±0.001	122.17±0.2	9.57±0.03
50.23±0.006	855±2	1025±2	70.34±0.13	4.49±0.002	0.27±0.001	2.40±0.001	118.14±0.1	5.53±0.021
50.21±0.008	300±5.2	1580±5.2	70.60±0.13	4.49±0.001	0.27±0.001	2.40±0.001	112.23±0.15	0.09±0.05
50.26±0.01	160±3	1720±3	70.73±0.13	4.49±0.001	0.27±0.001	2.40±0.001	111.25±0.14	-1.29±0.032
50.22±0.01	30±5	1850±5	75.15±0.42	4.49±0.002	0.27±0.001	2.40±0.001	109.22±0.18	-2.56±0.053
47.58±0.002	20±1	1860±1	81.74±0.08	4.29±0.004	0.25±0.001	2.27±0.001	99.70±0.03	-2.37±0.011
54.96±0.008	**1360±3**	**520±3**	**73.99±0.17**	**4.46±0.002**	0.29±0.001	**2.63±0.001**	**107.25±0.21**	**9.92±0.03**
55.10±0.009	**1125±2.5**	**755±2.5**	**72.17±0.15**	**4.46±0.002**	0.29±0.001	**2.63±0.001**	**105.17±0.2**	**7.6±0.024**
55.06±0.007	**725±3.1**	**1155±3.1**	**75.09±0.23**	**4.46±0.001**	0.29±0.001	**2.63±0.001**	**100.81±0.23**	**3.68±0.03**
55.05±0.006	**190±3.2**	**1690±3.2**	**74.57±0.24**	**4.45±0.001**	0.29±0.001	**2.63±0.001**	**95.62±0.22**	**-1.57±0.031**
55.11±0.008	**100±5.1**	**1780±5.1**	**73.22±0.13**	**4.46±0.002**	0.29±0.001	**2.64±0.001**	**95.52±0.2**	**-2.46±0.05**
55.01±0.007	**40±0.9**	**1840±0.9**	**75.71±0.15**	**4.49±0.002**	0.29±0.001	**2.63±0.001**	**94.73±0.2**	**-3.04±0.008**
55.02±0.007	**35±2.9**	**1845±2.9**	**74.74±0.27**	**4.49±0.002**	0.29±0.001	**2.63±0.001**	**94.53±0.2**	**-3.09±0.028**
54.24±0.014	**20±1.3**	**1860±1.3**	**79.71±0.24**	**4.44±0.003**	0.29±0.001	**2.59±0.001**	**93.67±0.2**	**-3.14±0.012**
60.00±0.008	1275±1.6	605±1.6	74.46±0.17	4.41±0.009	0.32±0.001	2.87±0.001	88.96±0.24	8.43±0.015
60.12±0.012	1140±1.8	740±1.8	73.46±0.12	4.41±0.009	0.32±0.001	2.88±0.001	86.40±0.25	7.09±0.017
60.08±0.005	830±1.6	1050±1.6	74.09±0.15	4.41±0.007	0.32±0.001	2.87±0.001	83.79±0.23	4.05±0.015
60.03±0.009	180±0.9	1700±0.9	75.74±0.17	4.42±0.007	0.32±0.001	2.87±0.001	76.55±0.15	-2.31±0.01
60.06±0.005	80±2.1	1800±2.1	72.15±0.1	4.43±0.0022	0.32±0.001	2.87±0.001	75.66±0.18	-3.3±0.021
60.02±0.008	50±2.9	1830±2.9	72.38±0.11	4.42±0.002	0.32±0.001	2.87±0.001	76.09±0.22	-3.59±0.028
60.00±0.008	30±0.8	1850±0.8	73.10±0.1	4.42±0.001	0.32±0.001	2.87±0.001	75.48±0.22	-3.78±0.008
57.66±0.63	20±1	1860±1	81.50±0.14	4.38±0.004	0.31±0.001	2.74±0.001	74.49±0.32	-3.53±0.01

Deney koşulları: S_{mak}: 1880 mm; H_s:890 mm; T_{hava}(^{0}C):21±0.24; T_{su} (^{0}C): 18.5±0..9; BN:%25±0.24.

Ek Çizelge 4. D_2 anma çapında ve KA_1 kesit alanı seviyesinde elde edilen veriler

Q ($m^3 h^{-1}$)	S (mm)	Δ (mm)	G (dBA)	N (kW)	V1($m s^{-1}$)	V2($m s^{-1}$)	Pb (kPa)	Pe (kPa)
39.45±0.02	1530±4	350±4	75.45±0.09	4.85±0.002	0.24±0.001	1.52±0.001	132.33±0.24	13.87±0.03
39.43±0.02	1280±1.5	600±1.5	76.41±0.16	4.86±0.003	0.24±0.001	1.52±0.001	129.72±0.2	11.42±0.012
39.71±0.04	560±2.8	1320±2.8	76.78±0.11	4.87±0.003	0.24±0.001	1.53±0.001	121.93±0.26	4.34±0.023
39.17±0.03	40±1	1840±1	76.01±0.09	4.84±0.003	0.24±0.001	1.51±0.001	117.68±0.31	-0.72±0.008
25.54±0.2	20±1.4	1860±1.4	80.44±0.2	3.58±0.02	0.16±0.001	0.98±0.001	47.76±0.028	-0.27±0.011
48.80±0.03	**1360±3.5**	**520±3.5**	**78.26±0.18**	**5.45±0.004**	0.30±0.001	**1.88±0.001**	**122.60±0.32**	**11.61±0.032**
49.34±0.02	**1010±3.2**	**870±3.2**	**78.42±0.13**	**5.45±0.002**	0.30±0.001	**1.90±0.001**	**118.98±0.25**	**8.14±0.03**
49.37±0.02	**440±2.6**	**1440±2.6**	**77.55±0.09**	**5.44±0.002**	0.30±0.001	**1.90±0.001**	**113.54±0.25**	**2.54±0.023**
49.35±0.017	**40±1.3**	**1840±1.3**	**76.38±0.16**	**5.44±0.002**	0.30±0.001	**1.90±0.001**	**108.76±0.24**	**-1.37±0.012**
41.54±0.14	**20±1.9**	**1860±1.9**	**81.36±0.19**	**4.60±0.02**	0.25±0.001	**1.60±0.001**	**71.24±2.5**	**-1.05±0.017**
59.18±0.029	1150±4.7	730±4.7	79.05±0.16	5.91±0.002	0.36±0.001	2.28±0.001	108.30±0.29	8.73±0.017
59.33±0.017	840±2.4	1040±2.4	78.70±0.13	5.91±0.002	0.36±0.001	2.28±0.001	104.68±0.24	5.68±0.008
59.23±0.028	520±3.7	1360±3.7	78.49±0.11	5.92±0.002	0.36±0.001	2.28±0.001	101.15±0.3	2.55±0.013
59.46±0.018	190±4.7	1690±4.7	78.44±0.14	5.93±0.002	0.36±0.001	2.29±0.001	97.85±0.2	-0.70±0.017
59.28±0.024	80±1.3	1800±1.3	77.78±0.13	5.92±0.002	0.36±0.001	2.28±0.001	97.90±0.3	-1.76±0.005
59.18±0.022	40±5	1840±5	77.76±0.1	5.92±0.002	0.36±0.001	2.28±0.001	97.21±0.3	-2.14±0.002
49.35±0.074	20±1	1860±1	81.54±0.25	4.91±0.02	0.30±0.001	1.90±0.001	64.73±2.3	-1.57±0.004
69.39±0.018	**900±1.2**	**980±1.2**	**76.14±0.18**	**6.27±0.002**	0.42±0.001	**2.67±0.001**	**91.62±0.4**	**5.33±0.004**
69.26±0.024	**630±0.7**	**1250±0.7**	**77.41±0.15**	**6.27±0.003**	0.42±0.001	**2.67±0.001**	**89.25±0.34**	**2.69±0.0026**
69.31±0.022	**420±3.6**	**1460±3.6**	**76.65±0.13**	**6.29±0.002**	0.42±0.001	**2.67±0.001**	**85.17±0.28**	**0.63±0.013**
69.23±0.022	**90±0.9**	**1790±0.9**	**75.98±0.14**	**6.28±0.002**	0.42±0.001	**2.67±0.001**	**82.76±0.3**	**-2.59±0.003**
69.22±0.024	**60±2**	**1820±2**	**75.82±0.12**	**6.28±0.002**	0.42±0.001	**2.67±0.001**	**83.23±0.3**	**-2.88±0.007**
67.29±0.021	**30±8**	**1850±8**	**79.34±0.16**	**6.16±0.008**	0.41±0.001	**2.59±0.001**	**79.95±0.63**	**-2.99±0.003**
79.27±0.025	645±1	1235±1	72.57±0.1	6.58±0.002	0.48±0.001	3.05±0.001	77.06±0.27	1.76±0.004
79.12±0.04	230±4	1650±4	74.12±0.12	6.58±0.002	0.48±0.001	3.05±0.001	70.89±0.29	-2.28±0.016
79.08±0.021	150±2.3	1730±2.3	73.85±0.15	6.57±0.001	0.48±0.001	3.05±0.001	69.42±0.31	-3.06±0.009
78.93±0.025	110±4.7	1770±4.7	73.02±0.14	6.57±0.001	0.48±0.001	3.04±0.001	68.78±0.28	-3.44±0.02
78.95±0.026	70±2.8	1810±2.8	73.10±0.09	6.57±0.002	0.48±0.001	3.04±0.001	67.19±0.33	-3.83±0.011
78.83±0.028	50±2	1830±2	73.26±0.08	6.57±0.001	0.48±0.001	3.04±0.001	67.19±0.23	-4.01±0.008
78.75±0.025	40±2	1840±2	73.40±0.09	6.57±0.001	0.48±0.001	3.03±0.001	65.60±0.29	-4.10±0.008
77.48±0.022	3±0.6	1850±6	79.18±0.3	6.47±0.007	0.47±0.001	2.98±0.001	63.92±0.67	-4.06±0.004

Deney koşulları: S_{mak}: 1880 mm; H_s:890 mm; T_{hava}(^{0}C):11.2±0.23; T_{su}(^{0}C): 6.2±0.21; BN:%24±0.9

Ek Çizelge 5. D_2 anma çapında ve KA_2 kesit alanı seviyesinde elde edilen veriler

Q ($m^3 h^{-1}$)	S (mm)	Δ (mm)	G (dBA)	N (kW)	V1($m s^{-1}$)	V2($m s^{-1}$)	Pb (kPa)	Pe (kPa)
39.21±0.024	1540±4	340±4	75.71±0.16	4.84±0.002	0,24±0.001	1.21±0.001	134.67±0.19	14.40±0.032
39.12±0.023	1170±1.1	710±1.1	74.28±0.17	4.83±0.002	0,24±0.001	1.20±0.001	131.80±0.2	10.78±0.008
39.14±0.015	150±3.1	1730±3.1	73.48±0.12	4.84±0.002	0,24±0.001	1.20±0.001	121.24±0.2	0.77±0.008
39.06±0.018	40±2.1	1840±2.1	72.81±0.07	4.83±0.002	0,24±0.001	1.20±0.001	120.31±0.18	-0.31±0.01
28.33±0.09	20±1.4	1860±1.4	82.16±0.23	3.75±0.011	0,17±0.001	0.87±0.001	49.59±1.6	-0.17±0.006
49.23±0.02	**1350±1.1**	**530±1.1**	**76.22±0.17**	**5.42±0.002**	**0,30±0.001**	**1.51±0.001**	**122.60±0.31**	**12.13±0.007**
49.28±0.02	**1000±1.7**	**880±1.7**	**76.72±0.14**	**5.43±0.002**	**0,30±0.001**	**1.52±0.001**	**118.66±0.22**	**8.7±0.006**
49.01±0.02	**120±1.1**	**1760±1.1**	**74.15±0.1**	**5.42±0.002**	**0,30±0.001**	**1.51±0.001**	**111.11±0.2**	**0.08±0.004**
48.91±0.02	**50±1**	**1830±1**	**74.78±0.16**	**5.41±0.002**	**0,30±0.001**	**1.50±0.001**	**109.92±0.18**	**-0.6±0.004**
43.76±0.09	**20±0.4**	**1860±0.4**	**81.25±0.14**	**4.80±0.005**	**0,27±0.001**	**1.35±0.001**	**80.07±0.62**	**-0.68±0.004**
59.69±0.025	1120±0.86	760±8.6	75.87±0.15	5.90±0.002	0,36±0.001	1.84±0.001	105.03±0.2	9.36±0.002
58.99±0.027	670±2.1	1210±2.1	76.38±0.18	5.87±0.002	0,36±0.001	1.82±0.001	102.19±0.19	4.98±0.003
58.89±0.022	150±3.8	1730±3.8	76.38±0.19	5.88±0.002	0,36±0.001	1.81±0.001	97.70±0.22	-0.12±0.006
58.75±0.022	60±1.7	1820±1.7	75.69±0.11	5.87±0.002	0,36±0.001	1.81±0.001	96.86±0.21	-0.99±0.002
53.85±0.09	30±1.6	1850±1.6	84.45±0.09	5.40±0.008	0,33±0.001	1.66±0.001	80.10±1.17	-1.03±0.003
69.31±0.026	**870±3.3**	**1010±3.3**	**77.70±0.13**	**6.27±0.002**	**0,42±0.001**	**2.13±0.001**	**90.81±0.22**	**6.34±0.004**
69.31±0.021	**450±4.3**	**1430±4.3**	**77.73±0.13**	**6.27±0.002**	**0,42±0.001**	**2.13±0.001**	**86.734±0.3**	**2.21±0.009**
69.53±0.032	**210±0.8**	**1670±0.8**	**77.76±0.15**	**6.28±0.002**	**0,42±0.001**	**2.14±0.001**	**84.33±0.21**	**-0.15±0.001**
69.41±0.027	**80±1.7**	**1800±1.7**	**76.75±0.11**	**6.27±0.002**	**0,42±0.001**	**2.14±0.001**	**82.82±0.16**	**-1.42±0.006**
69.28±0.027	**50±1.8**	**1830±1.8**	**76.72±0.1**	**6.27±0.002**	**0,42±0.001**	**2.13±0.001**	**83.37±0.22**	**-1.71±0.003**
68.38±0.029	**30±0.9**	**1850±0.9**	**83.72±0.35**	**6.22±0.002**	**0,42±0.001**	**2.11±0.001**	**80.07±0.37**	**-1.85±0.003**
79.11±0.012	580±2.5	1300±2.5	77.65±0.04	6.59±0.002	0,48±0.001	2.44±0.001	72.11±0.1	2.82±0.01
79.24±0.025	310±3.4	1570±3.4	76.72±0.15	6.56±0.002	0,48±0.001	2.44±0.001	69.24±0.2	0.17±0.01
79.52±0.027	220±2.8	1660±2.8	79.42±0.15	5.52±0.001	0,48±0.001	2.44±0.001	37.43±0.2	-0.74±0.01
79.26±0.021	170±0.8	1710±0.8	78.13±0.14	6.57±0.002	0,48±0.001	2.44±0.001	68.09±0.24	-1.21±0.02
79.17±0.019	110±2.1	1770±2.1	77.12±0.14	6.55±0.002	0,48±0.001	2.44±0.001	66.55±0.25	-1.79±0.02
79.10±0.028	60±1.5	1820±1.5	76.70±0.34	6.55±0.003	0,47±0.001	2.41±0.001	65.60±0.3	-2.28±0.03
78.10±0.027	30±1.2	1850±1.2	83.90±0.34	6.48±0.003	0,48±0.001	2.45±0.001	65.62±0.3	-2.49±0.02

Deney koşulları: S_{mak}: 1880 mm; H_s:890 mm; T_{hava}(^{0}C):9.5±0.43; T_{su} (^{0}C): 4.9±0.38; BN:%24±0.8

Ek Çizelge 6. D_2 anma çapında ve KA_3 kesit alanı seviyesinde elde edilen veriler

Q ($m^3 h^{-1}$)	S (mm)	Δ (mm)	G (dBA)	N (kW)	V1($m s^{-1}$)	V2($m s^{-1}$)	Pb (kPa)	Pe (kPa)
39.66±0.035	1550±1.8	330±1.8	78.44±0.18	4.90±0.003	0.24±0.001	1.02±0.001	136.70±0.22	14.71±0.015
39.80±0.024	1350±2.4	530±2.4	78.81±0.13	4.91±0.002	0.24±0.001	1.02±0.001	133.86±0.24	12.74±0.008
39.76±0.024	450±3	1430±3	74.68±0.18	4.95±0.002	0.24±0.001	1.02±0.001	127.23±0.22	3.92±0.02
39.93±0.03	70±0.8	1810±0.8	76.35±0.09	4.96±0.003	0.24±0.001	1.02±0.001	122.83±0.3	0.18±0.003
37.22±0.09	20±3.4	1860±3.4	81.17±0.3	4.71±0.02	0.23±0.001	0.95±0.001	104.97±2.81	-0.23±0.011
50.10±0.025	**1360±1.7**	**520±1.7**	**77.78±0.17**	**5.49±0.001**	0.30±0.001	**1.28±0.001**	**125.15±0.27**	**12.55±0.015**
49.34±0.012	**1010±1.7**	**870±1.7**	**78.42±0.15**	**5.45±0.002**	0.30±0.001	**1.27±0.001**	**118.76±0.22**	**9.13±0.015**
49.64±0.012	**140±1**	**1740±1**	**76.70±0.15**	**5.47±0.002**	0.30±0.001	**1.27±0.001**	**113.65±0.22**	**0.60±0.004**
49.46±0.022	**60±1.1**	**1820±1.1**	**76.62±0.08**	**5.45±0.003**	0.30±0.001	**1.27±0.001**	**112.90±0.3**	**-0.17±0.009**
47.42±0.09	**20±3**	**1860±3**	**82.63±0.12**	**5.24±0.007**	0.29±0.001	**1.21±0.001**	**100.08±0.011**	**-0.50±0.009**
59.78±0.024	1150±3	730±3	77.18±0.16	5.90±0.002	0.36±0.001	1.53±0.001	110.18±0.22	10.16±0.004
59.71±0.02	840±0.8	1040±8	76.83±0.17	5.90±0.003	0.36±0.001	1.53±0.001	106.50±0.28	7.12±0.002
59.69±0.019	300±1	1580±1	76.03±0.19	5.92±0.003	0.36±0.001	1.53±0.001	101.09±0.27	1.83±0.0015
59.88±0.021	80±0.5	1800±0.5	76.91±0.1	5.92±0.002	0.36±0.001	1.54±0.001	99.06±0.21	-0.33±0.0011
59.87±0.021	40±0.8	1840±0.8	76.86±0.13	5.92±0.003	0.36±0.001	1.54±0.001	99.15±0.24	-0.72±0.0022
57.99±0.045	20±3.6	1860±3.6	82.79±0.16	5.79±0.008	0.35±0.001	1.49±0.001	92.58±0.68	-0.85±0.0073
69.63±0.027	**900±0.76**	**980±0.76**	**76.41±0.16**	**6.23±0.003**	0.42±0.001	**1.79±0.001**	**93.74±0.22**	**7.31±0.002**
69.71±0.023	**590±3**	**1290±3**	**75.93±0.12**	**6.28±0.002**	0.42±0.001	**1.79±0.001**	**90.17±0.24**	**4.27±0.009**
69.70±0.023	**300±2.1**	**1580±2.1**	**74.63±0.16**	**6.29±0.002**	0.42±0.001	**1.79±0.001**	**87.31±0.23**	**1.42±0.003**
69.65±0.028	**130±0.76**	**1750±0.76**	**75.61±0.15**	**6.29±0.002**	0.42±0.001	**1.79±0.001**	**85.57±0.32**	**-0.23±0.002**
69.50±0.024	**60±0.79**	**1820±0.79**	**75.37±0.12**	**6.28±0.003**	0.42±0.001	**1.78±0.001**	**85.63±0.29**	**-0.91±0.006**
68.76±0.024	**20±3.2**	**1860±3.2**	**81.77±0.26**	**6.21±0.008**	0.42±0.001	**1.76±0.001**	**82.21±0.56**	**-1.28±0.01**
79.41±0.02	645±2.8	1235±2.8	77.58±0.1	6.48±0.002	0.48±0.001	2.04±0.001	77.00±0.25	4.35±0.01
79.34±0.05	470±1.5	1410±1.5	74.60±0.15	6.48±0.003	0.48±0.001	2.04±0.001	72.72±0.23	2.64±0.005
79.27±0.024	220±1.3	1660±1.3	75.00±0.17	6.50±0.002	0.48±0.001	2.03±0.001	70.29±0.24	0.19±0.002
79.44±0.022	140±1	1740±1	74.55±0.11	6.48±0.002	0.48±0.001	2.04±0.001	69.94±0.21	-0.59±0.002
79.32±0.026	70±0.5	1810±0.5	74.44±0.09	6.49±0.001	0.48±0.001	2.04±0.001	68.75±0.2	-1.27±0.002
79.29±0.039	40±0.9	1840±0.9	74.79±0.45	6.48±0.002	0.48±0.001	2.03±0.001	69.04±0.45	-1.57±0.003
77.21±0.09	20±0.2	1860±0.2	82.31±0.5	6.34±0.002	0.47±0.001	1.98±0.001	64.29±1.1	-1.66±0.003

Deney koşulları: S_{mak}: 1880 mm; H_s:890 mm; T_{hava}(^{0}C):12±0.12; T_{su} (^{0}C): 7.8±0.24; BN:%19±1.2

Ek Çizelge 7. D_3 anma çapında ve KA_1 kesit alanı seviyesinde elde edilen veriler

Q ($m^3 h^{-1}$)	S (mm)	Δ (mm)	G (dBA)	N (kW)	V1($m s^{-1}$)	V2($m s^{-1}$)	Pb (kPa)	Pe (kPa)
40.11±0.02	1540±3.5	340±3.5	65.87±0.21	5.8±0.008	0.31±0.001	0.82±0.001	190.1±0.35	14.60±0.031
40.21±0.03	1100±2.5	780±2.5	68.32±0.15	5.77±0.004	0.31±0.001	0.82±0.001	188.15±0.24	10.29±0.021
39.85±0.05	200±1.5	1680±1.5	67.11±0.25	5.78±0.005.	0.31±0.001	0.81±0.001	181.75±0.16	1.46±0.035
40.15±0.05	50±2	1830±2	72.65±0.32	5.78±0.003	0.31±0.001	0.82±0.001	180.24±0.32	-0.01±0.024
38.55±0.08	20±3	1860±3	76.45±0.35	5.45±0.02	0.30±0.001	0.79±0.001	165.25±0.45	-0.30±0.16
59.85±0.05	**1150±2**	730±2	**71.22±0.35**	**6.65±0.002**	0.47±0.001	**1.23±0.001**	164.11±0.21	**10.15±0.015**
60.21±0.04	**750±3**	1130±3	**72.65±0.19**	**6.64±0.001**	0.47±0.001	**1.23±0.001**	162.25±0.12	**6.25±0.024**
60.11±0.03	**150±2**	1730±2	**71.14±0.13**	**6.64±0.004**	0.47±0.001	**1.23±0.001**	160.15±0.37	**0.41±0.018**
60.05±0.015	**90±3**	1790±3	**72.11±0.11**	**6.65±0.003**	0.47±0.001	**1.23±0.001**	159.85±0.19	**-0.17±0.036**
55.12±0.02	**20±3.5**	1860±3.5	**79.55±0.34**	**6.1±0.009**	0.43±0.001	**1.13±0.001**	**140.22±0.36**	**-0.85±0.014**
80.14±0.03	650±1.8	1230±1.8	72.32±0.11	7.35±0.002	0.63±0.001	1.64±0.001	138.44±0.12	4.40±0.012
79.85±0.02	350±1.9	1530±1.9	71.25±0.13	7.29±0.0015	0.62±0.001	1.64±0.001	134.89±0.19	1.47±0.013
79.95±0.04	210±2.4	1670±2.4	72.95±0.16	7.32±0.003	0.63±0.001	1.64±0.001	133.23±0.17	0.11±0.022
79.88±0.011	110±3.2	1770±3.2	73.11±0.11	7.35±0.005	0.62±0.001	1.64±0.001	13204±0.26	-0.86±0.018
79.69±0.02	70±2.1	1810±2.1	73.27±0.18	7.39±0.008	0.62±0.001	1.63±0.001	131.25±0.27	-1.25±0.017
75.85±0.02	30±3.6	1850±3.6	79.65±0.36	7.05±0.007	0.59±0.001	1.56±0.001	125.75±0.34	-1.64±0.021
90.11±0.03	**320±2.2**	1560±2.2	**73.85±0.11**	**7.54±0.002**	0.71±0.001	**1.85±0.001**	**121.11±0.22**	**0.57±0.013**
89.98±0.015	**180±2.1**	1700±2.1	**75.65±0.19**	**7.51±0.001**	0.70±0.001	**1.85±0.001**	**119.14±0.21**	**-0.65±0.011**
90.2±0.02	**80±3.5**	1800±2.5	**74.11±0.21**	**7.49±0.003**	0.71±0.001	**1.85±0.001**	**117.74±0.15**	**-1.54±0.026**
86.21±0.03	**40±3.1**	1840±2.4	**80.21±0.39**	**7.12±0.007**	0.67±0.001	**1.77±0.001**	**104.23±0.45**	**-1.89±0.03**

Deney koşulları: S_{mak}: 1880 mm; H_s:890 mm; T_{hava}(^{0}C):5.5±0.15; T_{su} (^{0}C): 4.2±0.09; BN:%57±0.21

Ek Çizelge 8. D_3 anma çapında ve KA_2 kesit alanı seviyesinde elde edilen veriler

Q ($m^3 h^{-1}$)	S (mm)	Δ (mm)	G (dBA)	N (kW)	V1($m\ s^{-1}$)	V2($m\ s^{-1}$)	Pb (kPa)	Pe (kPa)
40.33±0.01	1520±3.4	360±3.4	66.98±0.15	5.751±0.005	0.32±0.001	1.03±0.001	196.74±0.24	14.41±0.026
40.36±0.02	1160±3.3	720±3.3	69.56±0.22	5.75±0.004	0.32±0.001	1.03±0.001	193.44±0.2	10.88±0.025
40.20±0.04	350±1.8	1530±1.8	67.17±0.15	5.73±0.002	0.31±0.001	1.03±0.001	185.91±0.28	2.94±0.015
40.24±0.04	60±1.2	1820±1.2	71.58±0.28	5.75±0.002	0.31±0.001	1.03±0.001	181.97±0.33	0.09±0.01
40.20±0.05	55±1.3	1825±1.3	72.70±0.29	5.71±0.002	0.31±0.001	1.03±0.001	181.92±0.35	0.04±0.01
29.69±0.015	20±0.8	1860±0.8	77.10±0.28	4.59±0.003	0.23±0.001	0.89±0.001	106.01±1.2	-0.07±0.005
59.94±0.034	**1140±1.8**	**740±1.8**	**72.27±0.16**	**6.61±0.002**	**0.47±0.001**	**1.54±0.001**	**171.35±0.2**	**10.08±0.014**
60.33±0.053	**600±1.7**	**1280±1.7**	**71.88±0.1**	**6.62±0.002**	**0.47±0.001**	**1.54±0.001**	**165.24±0.21**	**4.77±0.013**
59.86±0.02	**130±1**	**1750±1**	**70.85±0.15**	**6.60±0.003**	**0.47±0.001**	**1.53±0.001**	**161.48±0.17**	**0.18±0.008**
59.85±0.028	**70±1.8**	**1810±1.8**	**71.53±0.14**	**6.61±0.003**	**0.47±0.001**	**1.52±0.001**	**159.89±0.17**	**-0.41±0.014**
55.33±0.07	**20±3.5**	**1860±3.5**	**79.49±0.17**	**6.06±0.01**	**0.43±0.001**	**1.39±0.001**	**135.13±0.81**	**-0.74±0.03**
80.08±0.05	610±1.7	1270±1.7	76.11±0.21	7.20±0.001	0.63±0.001	2.06±0.001	139.30±0.28	4.02±0.003
79.43±0.03	420±1.4	1460±1.4	71.98±0.13	7.18±0.001	0.62±0.001	2.05±0.001	139.22±0.2	2.18±0.002
79.96±0.028	140±2.5	1740±2.5	73.77±0.15	7.30±0.002	0.63±0.001	2.06±0.001	134.47±0.18	-0.59±0.005
80.16±0.033	70±0.8	1810±0.8	74.15±0.13	7.29±0.001	0.63±0.001	2.06±0.001	133.45±0.19	-1.28±0.001
80.12±0.035	40±3.4	1840±3.4	74.28±0.11	7.29±0.001	0.63±0.001	2.06±0.001	133.31±0.2	-1.58±0.006
78.06±0.072	20±1.3	1860±1.4	80.44±0.14	7.14±0.001	0.61±0.001	2.00±0.001	131.34±0.54	-1.67±0.002
89.88±0.036	**290±2.6**	**1590±2.6**	**73.59±0.09**	**7.35±0.002**	**0.70±0.001**	**2.31±0.001**	**120.31±0.22**	**-0.37±0.02**
90.04±0.02	**160±1.3**	**1720±1.3**	**73.51±0.13**	**7.33±0.002**	**0.70±0.001**	**2.31±0.001**	**118.20±0.2**	**-0.92±0.01**
89.89±0.036	**60±2.9**	**1820±2.9**	**74.33±0.13**	**7.32±0.002**	**0.70±0.001**	**2.31±0.001**	**117.10±0.16**	**-1.89±0.02**
82.57±0.12	**30±0.7**	**1850±0.7**	**81.64±0.19**	**6.93±0.002**	**0.65±0.001**	**2.15±0.001**	**105.69±0.15**	**-1.8±0.006**

Deney koşulları: S_{mak}: 1880 mm; H_s:890 mm; T_{hava}(^{0}C):6.2±0.11; T_{su} (^{0}C): 4.5±0.08; BN:%62±0.19

Ek Çizelge 9. D_3 anma çapında ve KA_3 kesit alanı seviyesinde elde edilen veriler

Q ($m^3 h^{-1}$)	S (mm)	Δ (mm)	G (dBA)	N (kW)	V1($m s^{-1}$)	V2($m s^{-1}$)	Pb (kPa)	Pe (kPa)
40.09±0.01	1530±2.4	350±2.4	66.87±0.19	5.81±0.004	0.31±0.001	0.55±0.001	188.65±0.19	14.51±0.021
40.12±0.03	1250±3.1	630±3.1	68.12±0.29	5.75±0.002	0.31±0.001	0.55±0.001	186.15±0.25	11.76±0.014
39.99±0.02	350±1.8	1530±1.8	66.85±0.24	5.76±0.003	0.31±0.001	0.55±0.001	180.05±0.31	2.93±0.031
39.95±0.03	80±2.1	1800±2.1	72.45±0.32	5.76±0.004	0.31±0.001	0.55±0.001	179.85±0.18	0.28±0.017
37.55±0.04	20±3.5	1860±3.5	77.15±0.45	5.44±0.005	0.29±0.001	0.52±0.001	159.24±0.21	-0.30±0.027
60.22±0.019	**1160±2.4**	720±2.4	**70.25±0.21**	**6.64±0.002**	0.47±0.001	**0.83±0.001**	163.77±0.18	**10.25±0.019**
59.85±0.02	**700±1.5**	1180±1.5	**71.65±0.19**	**6.65±0.003**	0.47±0.001	**0.83±0.001**	161.95±0.17	**5.77±0.028**
60.18±0.02	**120±2.1**	1760±2.1	**72.85±0.17**	**6.63±0.002**	0.47±0.001	**0.83±0.001**	160.06±0.31	**0.12±0.039**
59.96±0.03	**70±3.3**	1810±3.3	**72.95±0.22**	**6.65±0.002**	0.47±0.001	**0.83±0.001**	158.96±0.21	**-0.37±0.014**
57.36±0.05	**20±4.5**	1860±4.5	**80.05±0.39**	**6.09±0.004**	0.45±0.001	**0.79±0.001**	**145.02±0.28**	**-0.85±0.022**
80.21±0.02	640±2.6	1240±2.6	72.14±0.21	7.34±0.002	0.63±0.001	1.11±0.001	135.11±0.21	4.31±0.014
79.95±0.03	360±2.4	1520±2.4	71.14±0.18	7.28±0.001	0.63±0.001	1.11±0.001	131.78±0.17	1.58±0.06
79.85±0.01	190±2.1	1690±2.1	72.65±0.17	7.31±0.003	0.62±0.001	1.10±0.001	129.77±0.19	-0.08±0.023
80.11±0.02	100±3.1	1780±3.1	74.11±0.12	7.34±0.002	0.63±0.001	1.11±0.001	128.7±0.31	-0.96±0.015
79.55±0.02	50±1.5	1830±1.5	74.25±0.21	7.38±0.001	0.62±0.001	1.10±0.001	122.11±0.35	-1.45±0.021
74.15±0.03	30±2.2	1850±2	80.11±0.31	7.01±0.005	0.58±0.001	1.02±0.001	120.15±0.24	-1.65±0.027
90.32±0.01	**300±2.4**	1580±2.4	**72.14±0.18**	**7.52±0.002**	0.71±0.001	**1.25±0.001**	**120.15±0.17**	**0.40±0.012**
90.14±0.02	**150±1.8**	1730±1.8	**76.54±0.14**	**7.49±0.005**	0.71±0.001	**1.25±0.001**	**118.26±0.11**	**-0.92±0.011**
89.95±0.01	**60±2.6**	1820±2.6	**75.21±0.36**	**7.49±0.003**	0.70±0.001	**1.24±0.001**	**116.99±0.21**	**-1.72±0.014**
84.28±0.02	**40±3.1**	1840±3.1	**80.19±0.34**	**7.1±0.004**	0.66±0.001	**1.17±0.001**	**103.41±0.16**	**-1.89±0.028**

Deney koşulları:S_{mak}: 1880 mm; H_s:890 mm; T_{hava}(^{0}C):6.8±0.11; T_{su} (^{0}C): 4.8±0.07; BN:%52±0.14

Ek Çizelge 10. Dalgıç pompalarde düşüm seviyesi (mm) değerlerine uygulanan varyans analiz sonuçları

	SD	KT	KO	F
Q (Debi)	1	18520.7	18520.7	74343.44**
D (Pompa)	2	897.1	448.6	1800.59**
KA (Kesit alanı)	2	20.6	10.3	41.31**
Q x D	2	131.5	65.8	263.94**
Q x KA	2	7.0	3.5	14.09**
D x KA	4	1.8	0.4	1.76
Q x D x KA	4	13.2	3.3	13.29**
Hata	36	9.0	0.2	
Genel	53	19601.0		

**p<0.01

Kesti alanı ortalamaları
KA_1 509.5_b
KA_2 519.6_a
KA_3 504.9_c
LSD=0.4045

Ek Çizelge 11. Dalgıç pompalarda debi x kesit alanında elde edilen düşüm değeri interaksiyonuna uygulanan LSD testi sonuçları

Q (m^3h^{-1})	KA	Debi - kesit alaı ortalmaları
40	KA_1	324.8 de
	KA_2	329.8 d
	KA_3	323.8 e
60	KA_1	694.1 b
	KA_2	709.5 a
	KA_3	686.0 c
		LSD=0.5733

Ek Çizelge 12. Dalgıç pompalarda debi x anma çapında elde edieln düşüm değeri interaksiyonuna uygulanan LSD testi sonuçları

	D_1	D_2	D_3
Q_1	289.4 f	339.3 e	349.7 d
Q_2	617.9c	742.7 a	729.0 b
	LSD=0.5733		

Ek Çizelge 13. Dalgıç pompalarde gürültü seviyesi (dBA) değerlerine uygulanan varyans analiz sonuçları

	SD	KT	KO	F
D (Pompa)	2	6582.13	3291.07	3707.08**
KA (Kesit alanı)	2	46.25	23.13	26.05**
Q (Debi)	1	344.9	344.9	388.5**
D x KA	4	335.7	83.93	94.53**
D x Q	2	1110.64	555.32	625.52**
KA x Q	2	130.47	65.24	73.48**
D x KA x Q	4	245.46	61.36	69.12**
Hata	612	543.32	0.89	
Genel	629	9338.88		

Kesti alanı ortalamaları
KA_1 72.90_b
KA_2 73.32_b
KA_3 73.56_a
LSD=0.204

** $p<0.01$

Ek Çizelge 14. Dalgıç pompalarda debi x kesit alanında elde edilen gürültü değeri interaksiyonuna uygulanan LSD testi sonuçları

Q (m^3h^{-1})	KA	Debi - kesit alaı ortalmaları
40	KA_1	71.52 $_d$
	KA_2	72.87 $_c$
	KA_3	73.17 $_c$
60	KA_1	74.28 ^{a}
	KA_2	73.77 $_b$
	KA_3	73.94 $_{ab}$
		LSD=0.3425

Ek Çizelge 15. Dalgıç pompalarda debi x anma çapında elde edilen gürültü değeri interaksiyonuna uygulanan LSD testi sonuçları

	D_1	D_2	D_3
Q1	74.45 $_c$	76.37 $_b$	66.57 $_f$
Q2	73.05 $_d$	77.37 $_a$	71.58 $_e$
	LSD=0.3425		

Ek Çizelge 16. Dalgıç pompalarda kesit alanı x anma çapında elde edilen gürültü değeri interaksiyonuna uygulanan LSD testi sonuçları

	D_1	D_2	D_3
KA_1	72.41 $_e$	77.25 $_b$	69.05 $_g$
KA_2	74.53 $_d$	75.79 $_c$	69.63 $_f$
KA_3	74.31 $_d$	77.81 $_a$	68.56 $_g$
	LSD=0.4025		

Ek-2 Şekiller-Kamera Görüntülerinde Vorteks Oluşumu



K_1 K_2

Ek Şekil 1. D_1KA_1; Q = 40 m^3h^{-1}; S = 40 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 2. D_1KA_1; Q = 45 m^3h^{-1}; S = 50 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 3. D_1KA_1; Q = 50 m^3h^{-1}; S = 30 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 4. D_1KA_1; Q = 55 m^3h^{-1}; S = 40 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 5. D_1KA_1; Q = 60 m^3h^{-1}; S = 50 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 6. D_1KA_2; Q = 40m^3h^{-1}; S = 25 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 7. D_1KA_2; Q = 45 m^3h^{-1}; S = 45 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 8. D_1KA_2; Q = 50 m^3h^{-1}; S = 45 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 9. D_1KA_2; Q = 55 m^3h^{-1}; S = 90 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 10. D_1KA_2; Q = 60 m^3h^{-1}; S = 75 mm



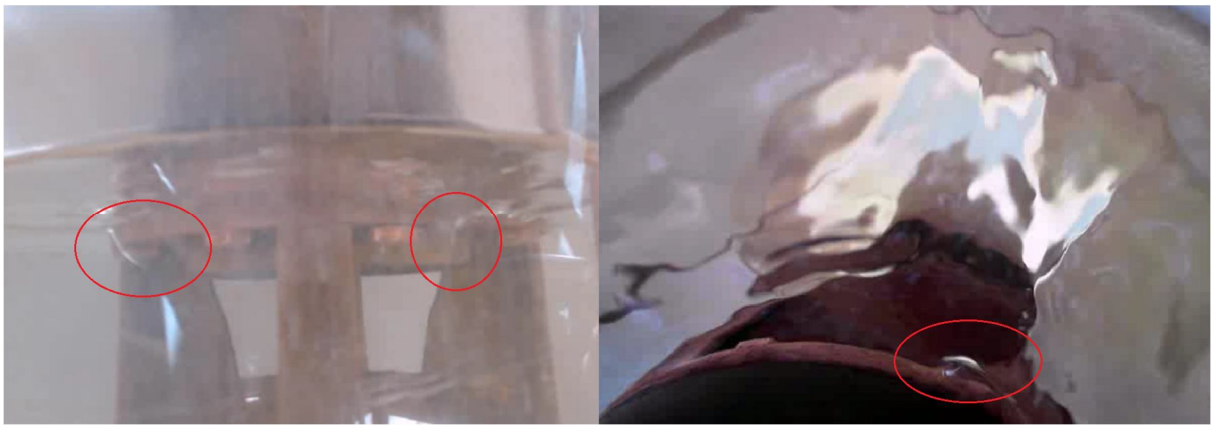
K_1 K_2

Ek Şekil 11. D_1KA_3; Q = 40 m^3h^{-1}; S = 30 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 12. D_1KA_3; Q = 45 m^3h^{-1}; S = 40 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 13. D_1KA_3; Q = 50 m^3h^{-1}; S = 30 mm



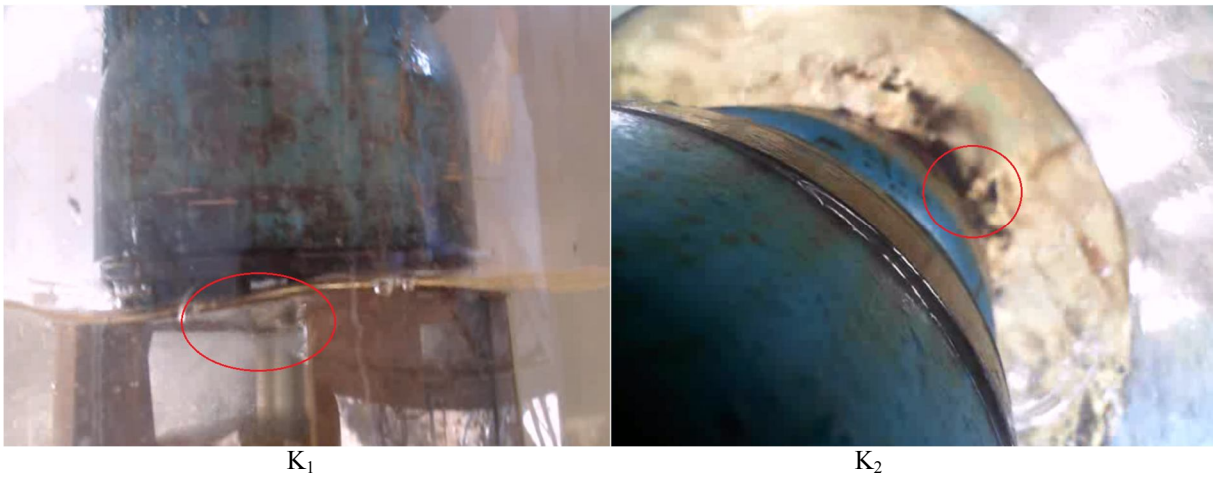
K_1 K_2

Ek Şekil 14. D_1KA_3; Q = 55 m^3h^{-1}; S = 45 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 15. D_1KA_3; Q = 60 m^3h^{-1}; S = 50 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 16. D_2KA_1; Q = 40 m^3h^{-1}; S = 20 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 17. D_2KA_1; Q = 50 m^3h^{-1}; S = 40 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 18. D_2KA_1; Q = 60 m^3h^{-1}; S = 40 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 19. D_2KA_1; Q = 70 m^3h^{-1}; S = 60 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 20. D_2KA_1; Q = 80 m^3h^{-1}; S = 75 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 21. D_2KA_2; Q = 40m^3h^{-1}; S =50 mm



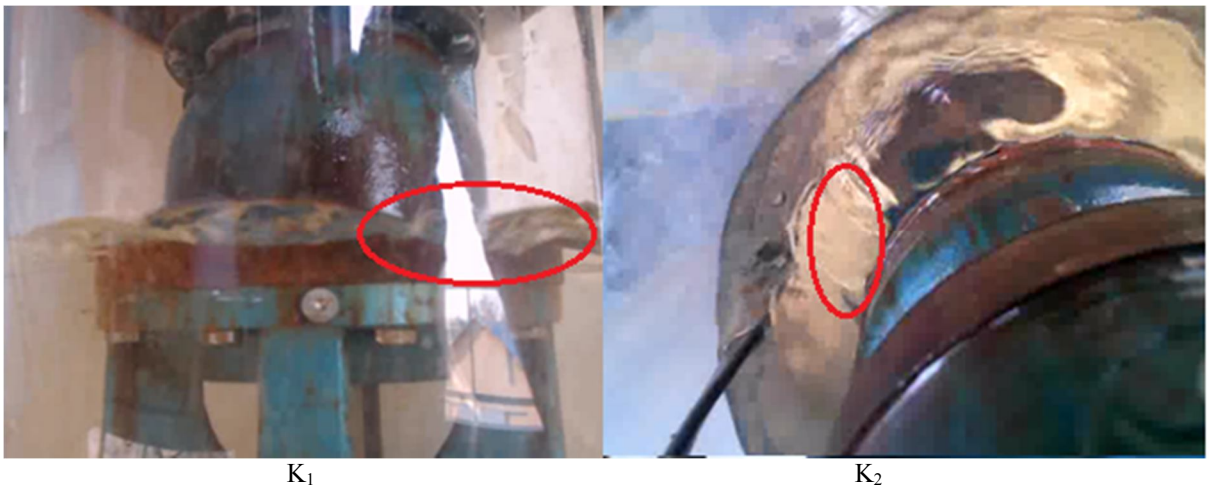
K_1 K_2

Ek Şekil 22. D_2KA_2; $Q = 50 m^3h^{-1}$; S = 50 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 23. D_2KA_2; $Q = 60 m^3h^{-1}$; S = 65 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 24. D_2KA_2; $Q = 70\ m^3h^{-1}$; S = 50 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 25a. D_2KA_2; Q = 80m^3h^{-1}; S = 110 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 25b. D_2KA_2; Q = 80m^3h^{-1}; S = 65 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 26. D_2KA_3 Q = 40 m^3h^{-1}; S = 25 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 27. D_2KA_3; Q = 50 m^3h^{-1}; S = 65 mm



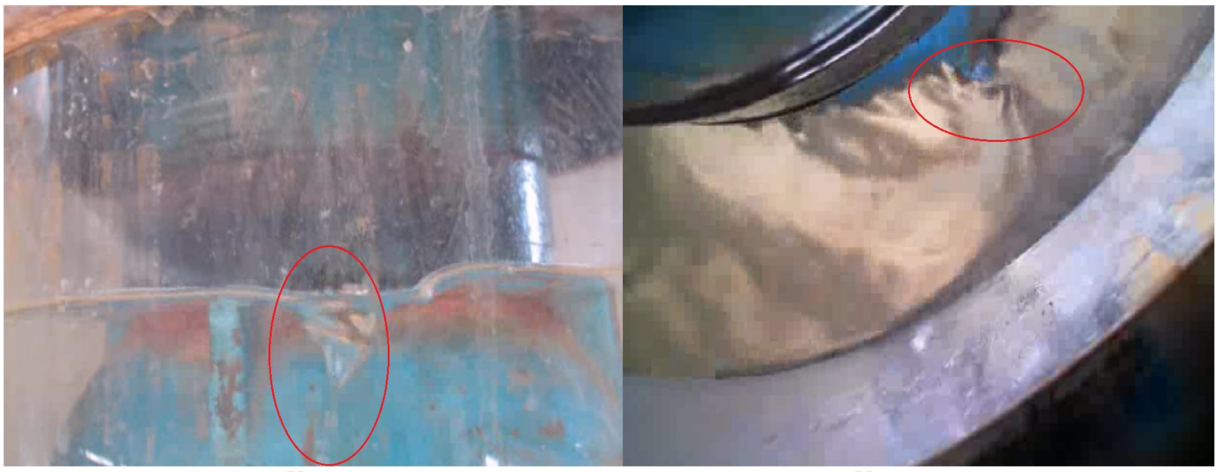
K_1 K_2

Ek Şekil 28. D_2KA_3; Q = 60 m^3h^{-1}; S = 85 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 29. D_2KA_3; Q = 70 m^3h^{-1}; S = 135 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 30. D_2KA_3; Q = 80 m^3h^{-1}; S = 140 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 31. D_3KA_1 Q = 40 m^3h^{-1}; S = 55 mm



K_1

Ek Şekil 32. D_3KA_1; Q = 60 m^3h^{-1}; S = 90 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 33. D_3KA_1; Q = 80 m^3h^{-1}; S = 110 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 34. D_3KA_1; Q = 90 m^3h^{-1}; S = 75 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 35a. D_3KA_2 Q = 40m^3h^{-1}; S = 60 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 35b. D_3KA_2; $Q = 40m^3h^{-1}$; S = 60 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 36. D_3KA_2; $Q = 60m^3h^{-1}$; S = 70 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 37. D_3KA_2; $Q = 80m^3h^{-1}$; S = 75 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 38a. D_3KA_2; Q = 90m^3h^{-1}; S = 160 mm



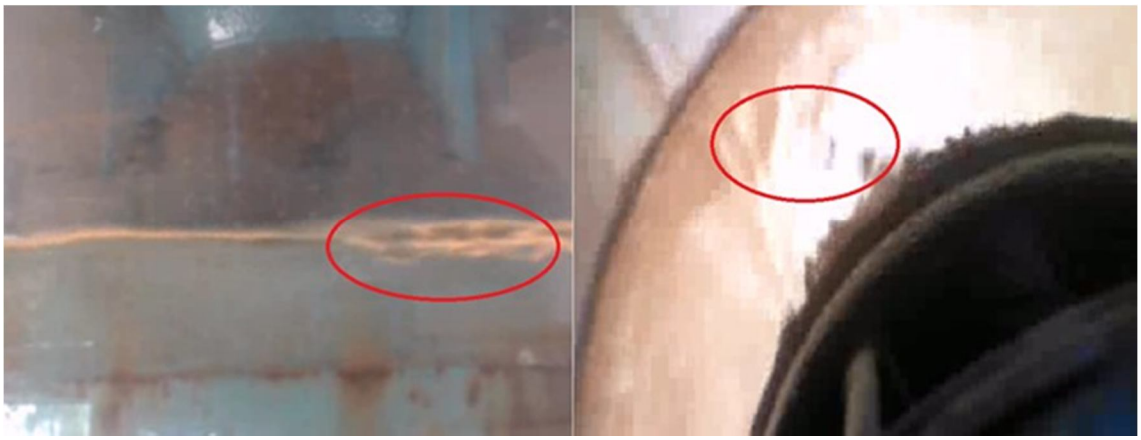
K_1 K_2

Ek Şekil 38b. D_3KA_2; Q = 90m^3h^{-1}; S = 60 mm



K_1

Ek Şekil 39. D_3KA_3; Q = 40 m^3h^{-1}; S = 50 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 40. D_3KA_3; Q = 60 m^3h^{-1}; S = 70 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 41. D_3KA_3; Q = 80 m^3h^{-1}; S = 65 mm



K_1 K_2

Ek Şekil 42. D_3KA_3; Q = 90 m^3h^{-1}; S = 100 mm

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Nuri ORHAN
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Çayıralan 27/03/1986
Telefon	**:**	03322282988
Faks	**:**	
e-mail	**:**	nuriorhan@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı. İlçe. İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**75.Yıl Cumhuriyet Lisesi Kocasinan/Kayseri**	**2003**
Üniversite	:	**K.S.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları**	**2008**
Yüksek Lisans	:	**K.S.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ABD**	**2011**
Doktora	:	**S.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği ABD.**	

UZMANLIK ALANI

Tarımsal Mekanizasyon, Sulama, Sulama Pompaları, Derin Kuyular.

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

N.Orhan., E. Kaya., S. Çalışır., Pompa Denemelerinde Kullanılan Farklı Güç Ölçme Yöntemleri, Tarım Makinaları Bilim Dergisi, 2012, 8 (2)

Çalışır, S., Orhan, N. Ve Kaya, E. Konya Bölgesinde Sulama Pompaj Tesisleri Ekonomisi. 10. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi: Cilt 2: 646-652. (2012) Konya.

T. Korucu., N. Orhan., H. Ünal., Y. Sarıcı, Doğrudan ve Geleneksel Toprak İşleme Uygulamalarının Ekim Performansı ve Verim Üzerindeki Etkileri, 6.Koruyucu Toprak İşleme ve Doğrudan Ekim Çalıştayı, 2013, Erzurum.

Orhan, N., Korucu, T., Dizibüyük, A, Dipkazanda Keski Demiri Kullanımının Performans Karakteristiklerine Etkisi, Tarım Bilimleri Dergisi, 2014, 20 (3), Ankara.

Durdu A., Orhan N., Çalışır S., 2016. Detection of Vortex at the Deep Well Submersible Pumps by Using Fuzzy Logic Controller and Impacts on Pump Operating Characteristics. International Human And Nature Sciences: Problems and Solutıon Seeking Congress, (IHANAS 2016)October 07-09, 2016 SARAJEVO .(Sunulu- Bildiri)