

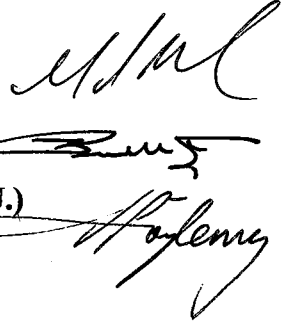
YAPAY HAVA KAVİTESİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Serhan GÖKÇAY
(508011011)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 8 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih: 30 Mayıs 2003

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Mustafa İNSEL (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. A. Yücel ODABAŞI (İ.T.Ü.)
Doç. Dr. Muhittin SÖYLEMEZ (İ.T.Ü.)

HAZİRAN 2003



ÖNSÖZ

Çalışmalarında karşılaştığım zorluklar karşısında beni cesaretlendiren ve yardımlarını esirgemeyen başta değerli hocam Doç.Dr. Mustafa İNSEL olmak üzere Prof. Dr. Ömer GÖREN'e, Doç.Dr. İsmail Hakkı Helvacıoğlu'na, Doç. Dr. Muhittin SÖYLEMEZ'e ve İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı Ekibi'ne teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca her zaman beni destekleyen sevgili ağabeyim Gökhan GÖKÇAY'a ve bugünlere gelebilmemi sağlayan aileme de sonsuz şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2003

Serhan GÖKÇAY



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	V
TABLO LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
ÖZET	IX
SUMMARY	X
1. GİRİŞ	1
2. YAPAY HAVA KAVİTELİ TEKNELER	4
2.1. Yapay Hava Kavitesi Kavramının Yüksek Süratli Teknelere Uygulanması	4
2.1.1 Tekne Form Dizaynı	5
2.1.2 İnşaa Edilmiş Teknelerin Temel Karakteristiği	6
2.1.3 Kullanılan Sevk Sistemleri	7
2.1.4 Yapay Hava Kaviteli Yüksek Süratli Teknelerin Verimi	7
2.2. Yapay Hava Kaviteli Bir Tekne'nin Deneysel Analizi	11
2.2.1 Yapılan Deneyler	11
2.2.2 Deney Sonuçları	13
3. YAPAY HAVA KAVİTESİ OLUŞUMUNUN NUMERİK MODELLENMESİ	18
3.1 CFD	18
3.1.1 CFD Yazılımları	19
3.2 FLUENT V6	20
3.2.1 Programın Uygulama Alanları	20
3.2.2 Kullanılan Çözüm Tekniği	20
3.2.3 Kullanılan Türbülans Modeli	21
3.3 NUMERİK MODELLEME	21
3.3.1 Sınır ve Çalışma Koşulları	22
3.3.2 Numerik Modelleme Sonuçları	25
4. YAPAY HAVA KAVİTESİ OLUŞUMUNUN DENEYSEL MODELLENMESİ	28
4.1 Akım Görüntüleme Teknikleri	28
4.1.1 Cidar Teknikleri	29
4.1.2 Akım İçi Teknikleri	30
4.2 Deneysel Çalışma	31
4.2.1 Deney Sistemi	32
4.2.2 Ön Deneyler	34
4.2.3 Deneylerde İzlenen Yöntem	35
4.3 Deney Sonuçları	38
4.3.1 Siğiller Arkasındaki Akış	38
4.3.2 Yapay Hava Kavitesindeki Akış	42

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR	51
EKLER	53
ÖZGEÇMİŞ	67



KISALTMALAR

SES	: Yüzey Etkili Gemi
YHKT	: Yapay Hava Kaviteli Tekne
Q	: Hava Debisi
Sc	: Kayma Alanı
SPP	: Yüzeyi Yaran Pervaneler
CFD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Bazı YHKT özellikleri	8
Tablo 2.2. Farklı dizaynlar için dip kavite etkisi hesapları	9
Tablo 2.3. Hava yağlamanın farklı direnç bileşenleri üzerindeki etkisi	10
Tablo 4.1. 30 Derecelik Siğil Deney Sonuçları	46
Tablo 4.2. 15 Derecelik Siğil Deney Sonuçları	47



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>	
Şekil 2.1	YHKT’ler için çok basamaklı varyasyonun şematik çizimi	4
Şekil 2.2	YHKT’ler için tek basamaklı varyasyonun şematik çizimi	5
Şekil 2.3	Hıza Karşılık Efektif Güç Gereksinimleri	8
Şekil 2.4	Parabolik formda seçilen baş form.	11
Şekil 2.5	Deneylerde kullanılan veri toplama sistemi	12
Şekil 2.6	Yanlardan ve arkadan hava kaçışları	13
Şekil 2.7	Dinamik batma eğrileri	14
Şekil 2.8	Dinamik trim eğrileri	14
Şekil 2.9	Dalga Direnç Katsayıları	15
Şekil 2.10	Viskoz direnç karşılaştırmaları	16
Şekil 3.1	Modellemede kullanılan ağ yapısı (Ağ aralığı 0.03m)	22
Şekil 3.2	Ağ sıklığının kavite boyu üzerindeki etkisi	24
Şekil 3.3	Modellenen geometri	24
Şekil 3.4	Ayrılma bölgesi Uzunluğunun (L) hızla değişimi	26
Şekil 4.1	Sirkulasyon kanalı	32
Şekil 4.2	Deney Seti Detay Görünümü	34
Şekil 4.3	Kanaldaki su hızının ölçümünde kullanılan pütöt tüpü ve basınç algılayıcısı	35
Şekil 4.4	Deney sistemi	36

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.5	Deney Setinin Şematik gösterimi 37
Şekil 4.6	Küt Cisim Arkasındaki Akış 38
Şekil 4.7	Deneyssel olarak incelenen geometriler 39
Şekil 4.8	30 derecelik Siğil- Akış Hızı 0,3m/s 40
Şekil 4.9	30 derecelik Siğil- Akış Hızı 0,6m/s 40
Şekil 4.10	30 derecelik Siğil- Akış Hızı 0,9m/s 41
Şekil 4.11	15 derecelik Siğil- Akış Hızı 0,6m/s 41
Şekil 4.12	15 derecelik siğil arkasında üç farklı hızda yapılan basınç ölçümleri 42
Şekil 4.13	Hava Kavitesinin 0,3 m/s'lik akıştaki hali 43
Şekil 4.14	0,6m/s'de henüz düşmeyen kavite boyu (810mm) 44
Şekil 4.15	0,9m/s'de 290mm'ye inen Kavite boyu 44
Şekil 4.16	Akış hızının kavite boyu üzerindeki etkisi. 45

YAPAY HAVA KAVİTESİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Yapay hava kavitesi kavramının uygulandığı yüksek süratli teknelerde önemli ölçüde viskoz direnç düşüşü sağlaması bu konu üzerine araştırmacıların ilgisini çekmiş ve bu kavramı geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ancak literatürde yapılan araştırmalar sonucunda bugüne kadar yapay hava kavitesi üzerine sistematik bir çalışmanın eksikliği bu kavramın teknelere efektif bir şekilde uygulanması aşamasında sıkıntılara neden olmuş ve bu konunun ayrıntılı olarak incelenmesi ihtiyacını doğurmuştur.

Bu çalışmada, çeşitli siğiller arkasında meydana gelen yapay hava kavitesinin incelenerek kavite hacmini arttırmaya yönelik değişkenlerin numerik hesaplamayla belirlenmesi ve ortaya çıkan varyasyonların uygun bir deney düzeneği yardımıyla doğrulanması amaçlanmıştır.

Hesaplamalı akışkanlar mekaniği, gerek zamandan sağladığı tasarruf gerekse deneysel olarak incelenmesi zor sistemlerin incelenebilmesi açısından önemli bir alternatif teşkil etmektedir. Bu çalışmada da bu alternatiften yararlanılarak yapay hava kavitesi modellenmesinde FLUENT V6 isimli sonlu farklar prensibine dayanarak hesap yapan bir paket program kullanılmıştır.

Yapay hava kavitesinin incelenmesinde kullanılabilecek yöntemlerden biri de sistemin laboratuvar ortamında denenmesi ve amaca yönelik ölçümlerin yapılmasıdır. Bu çalışmada ayrılma bölgesinin büyüklüğünün ölçümü için akım görüntüleme tekniklerinden faydalanılmış buna ek olarak belirlenen yerlerde toplam ve statik basınç ölçümleri yapılmıştır.

Elde edilen deneysel ve numerik sonuçlar karşılaştırılarak numerik modellerin doğruluğu konusunda bir fikir sahibi olunmuş ve bu çalışmayı ilerletme konusunda yorumlarda bulunulmuştur.

INVESTIGATION OF ARTIFICIAL AIR CAVITY

SUMMARY

Artificial air cavity ship concept has received some interest due to its potential on viscous resistance reduction for high speed craft. Various studies have been made to develop this concept. However, due to absence of a systematical research on artificial air cavity, application of this concept encountered some problems and showed that detailed research is required for the future applications.

Current work aims to investigate artificial air cavity established behind various wedges. At the first stage by the help of Computational Fluid Dynamics, critical parameters that play important role on cavity length were determined. At the second stage experiments were carried out to validate the CFD data.

Since numerical methods supply both time saving and opportunity to work with harder conditions they are alternative to experimental methods. In this study by using this option, artificial air cavity is modeled by the help of a CFD package named FLUENT V6 which makes calculations based on the finite difference method.

Another alternative of modeling artificial air cavity is experimental research of the cavity by the help of an experimental set up and making some measurements. In this current work, flow visualization technique is utilized for determining the length of separation zone. Additionally total and static pressure measurements were made.

Experimental and numerical results were compared for the validation of numerical model and comments on development of this concept were made.

1.GİRİŞ

Teknolojinin gelişimine paralel olarak gelişen dünya ticaretinde deniz taşımacılığı büyük bir rol oynamaktadır. Taşımacılık sektörünün bu denli hızlı gelişimi önemli bir sorun haline geleceği öngörülen yakıt sıkıntısını da beraberinde getirmiştir. Artan taşıt sayısı yakıtı olan talebi de arttırmakta, dolayısıyla bu durum yakıt maliyetine doğrudan yansımaktadır. Yaşanan bu olgu , alternatif yakıt kaynaklarının araştırılması, makina verimlerinin artırılması ve minimum dirence sahip taşıt formlarının incelenmesi konularının paralel olarak geliştirilmesine ön ayak olmuştur.

Denizcilikte tekne formlarını geliştirmeye yönelik birçok çalışma yapılmış ve sonuçta çeşitli tekne tipleri ortaya çıkmıştır. Genel olarak tekne direnç bileşenlerinden en baskınları olan dalga enerjisi ve viskoz direnci düşürmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Yapay hava kavitesindeki gemiler de bahsedilen ihtiyaçlardan yola çıkılarak geliştirilmiş yeni bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Bugüne kadar geliştirilen özellikle yüksek süratlı gemiler sınıfında uygulanmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Toplam dirençte %20'lere varan direnç düşüşleri elde edilmesi özellikle 1960 sonrasında bu tekneye olan ilgiyi arttırmıştır. Model deneylerinden alınan sevindirici sonuçlar seri bir şekilde bu özelliğe sahip teknelerin üretime başlanmasını sağlamıştır. Özellikle 1980 sonrası Rusyada bu tipte 50'yi aşkın tekne siparişi verilmiş ancak bir kısmı finansal sorunlar nedeniyle tamamlanamamıştır.

Yapay hava kavitesinin tarihi aslında pek de yeni sayılmaz. 19yy. dan bu yana zaman zaman bu konuda çalışmalar yapılmış ancak ilk yapılan çalışmalar tatmin edici olmamıştır. Bunun nedeni de yapay hava kavitesinin yüksek süratli teknelerde konvansiyonel teknelere kıyasla çok daha efektif olması olarak açıklanabilir. Yüksek süratli teknelerin de bir hassa ikinci dünya savaşından sonra geliştiği hatırlandığında neden bu konunun geliştirilmesi için bu kadar gecikildiği ortaya çıkmaktadır.

Yapay hava kavitesi kavramı aslında çok basit bir fiziksel olguya dayanmaktadır. Belli bir Reynold sayısına sahip bir akışta küt bir cisim, basamak ya da siğil

arkasında doğal kavite olarak adlandırılan bir boşluk oluşmakta dolayısıyla küt geometri arkasındaki belli bir alan su yerine havayla temas etmektedir. Bu durum cisim duvarlarında meydana gelen sürtünme direncinde düşüşe neden olmaktadır. Ancak küt cisimden kaynaklanan bir de basınç artışı vardır ki bu da genel olarak sağlanan sürtünme direnci düşüşünü gölgeleyici bir etkide bulunmaktadır. Yapay hava kavitesindeki fikir bu doğal kavitenin hacmini hava ya da sıkıştırılabilir bir akışkan vererek büyütmek ve dolayısıyla ıslak yüzey alanını azaltarak toplam dirençte düşüşü sağlamaktır.

Yapay hava kavitesinin oluşumu için kullanılan hava ya da sıkıştırılabilir akışkanı basmak ana makina gücünün sadece %2-3'ü mertebesinde olması sistemin verimliliğini ortaya koymakta net kazancın büyüklüğü bu kavrama olan ilgiyi arttırmakta konvansiyonel tekneler de uygulanması için teşvik edici olmaktadır.

Kavitenin geometrisi, hava verme yeri, açısı ve buna benzer parametreler şüphesiz sistemin verimini belirleyen ve özellikle konvansiyonel teknelere uygulama aşamasında kritik öneme sahip bir konudur. Bugüne kadar bu konu üzerine yapılan sistematik çalışmaların azlığı bu kavramın geliştirilmesini yavaşlatıcı bir etki yapmıştır.

Literatüre bakıldığında bu konu üzerine Butuzov'un (1967) Krylov gemi araştırma enstitüsündeki çalışmalarıyla baskın olarak karşılaşmaktayız. Gemi altının ventilasyonunu kavitasyon teorisini kullanarak geliştirmiş. Süper kavite ve havalandırılmış akışlar hakkında Knapp ve diğerleri (1970); Brennen (1995); Savchenko (2001) birçok çalışma yapmışlar. Matveev (2002), yapay kavitenin sınırlayıcı parametreleri konusunda potansiyel akımla modellediği kaviteyi inceleyerek bir araştırma yapmış, Gökçay ve diğerleri (2003) yapay hava kaviteli tekne formunun incelenmesi amacıyla Ata Nutku Gemi Model Deney laboratuvarında iki farklı model üzerinde araştırmalar yaparak bu kavramın direnç bileşenleri üzerine etkisi, hava debisinin olaya etkisi gibi konuları incelemişlerdir.

Literatürde yapılan araştırmalar sonucunda bugüne kadar yapay hava kavitesi üzerine sistematik bir çalışmanın olmayışı bu kavramın teknelere etkin bir şekilde uygulanması aşamasında sıkıntılara neden olmuş ve bu konunun ayrıntılı olarak incelenmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu çalışmada, çeşitli siğiller arkasında meydana gelen yapay hava kavitesinin incelenerek kavite hacmini arttırmaya yönelik

değişkenlerin numerik hesaplamayla belirlenmesi ve ortaya çıkan varyasyonların uygun bir deney düzeneği yardımıyla doğrulanması amaçlanmıştır.

Meydana getirilen numerik modeli doğrulamaya yönelik literatürde araştırma yapıldığında viskoz olarak modellenen yapay hava kavitesine raslanmamakta, genel olarak basamak arkasındaki akış, küt cisimler arkasındaki akışa dair konularda çalışmalar bulunmuştur. Bunlardan bazıları: Hatipoğlu (2000), kararlı bir akım ortamında tabana oturan yatay silindirler etrafındaki akım alanını numerik olarak modellemiş ve deneysel olarak da akım görüntülemesi yapmış, Gu (1998), V şekilli küt cisim arkasındaki türbülanslı ayrılma bölgesinin lineer olmayan k-epsilon modellemesini yapmış, Tihon ve diğerleri (2001), basamak arkasındaki akışlar konusunda duvara yakın bölgeleri incelemişler.

Yapılan literatür taraması sonucunda FLUENT V6 isimli sonlu farklar prensibine dayanarak hesap yapan bir paket program kullanılarak numerik bir model kurulmuş bu model üzerinde iki farklı geometri ve farklı hızlar denenmiş, aynı parametrelere sahip fiziksel bir model oluşturularak ikisi arasındaki uyuma bakılmıştır.

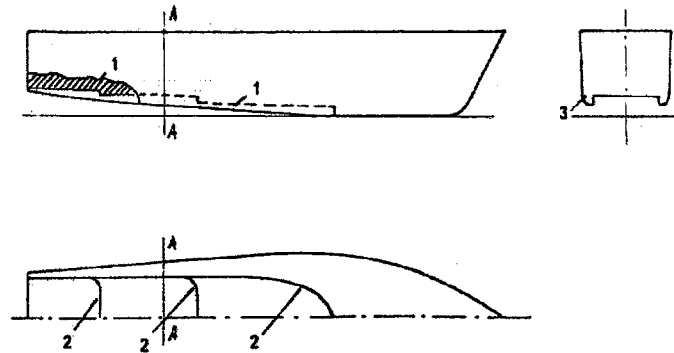
2.YAPAY HAVA KAVİTELİ TEKNELER

2.1 Yapay Hava Kavitesi Kavramının Yüksek Süratli Teknelere Uygulanması:

Yapay hava kavitesindeki tekneleri çalışma prensibi açısından belki SES (Yüzey Etkili Gemi) 'lerle veya hava yastıklı teknelerle aynı sınıfta yer alabilir çünkü bu üç tip gemide de gemi dibiyile su arasında bir fan tarafından verilen gaz tabakası vardır. Yapay hava kaviteli tekne (YHKT) ve SES tekne formları arasındaki farklar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

YHKT'ların başları (öndeki basamak öncesi form) konvansiyonel kayıcı ya da yarı kayıcı tekneler gibi düzenlenmiştir. Bu çözüm denizcilik yönünden oldukça yararlıdır. Dalgalı denizde teknenin servis güvenilirliğini SES teknelerdeki yastıklarla karşılaştırdığımızda oldukça arttırmaktadır.

Geminin kıç kısmında (kavitenin arkasında) YHKT'larda devamlı ıslanan sürekli bir bölüm vardır. Bunun için hava boşluğu bu iki bölüm arasında (baş ve kıç arasında) bulunur. Sonuç olarak bu aradaki kısımda kararlı bir boşluk oluşturmak için düşük oranda gaz ya da hava (Q;hava debisi) gereksinimi vardır. Bu nedenle, baş ve kıçtaki bu alanların (geminin dizayn hızına bağlı) kavite parametreleri üzerinde önemli etkileri vardır. Boy, kayma alanı S_c , gerekli kavite basıncı P_c gibi.

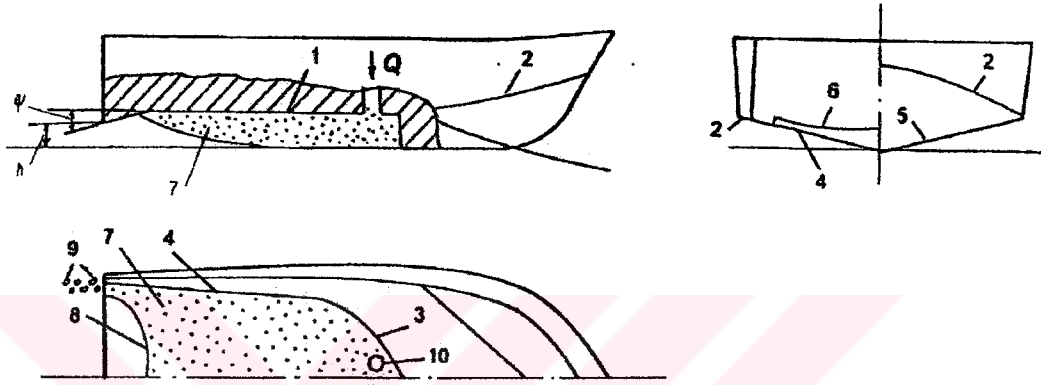


1- Merkez hattındaki kavite formu; 2-Basamak; 3- Skeg

Şekil 2,1 : YHKT'ler için çok basamaklı varyasyonun şematik çizimi

Teknenin kıç dibi özel tekne formlarına göre dizayn edilir.(Şekil 4) Yüksek süratli YHKT'ler için bu bölümün boyu dikeyler arası boyun %50-70 'i civarlarındadır. Şekil 2,1 ve 2,2'de kayıcı, yarı kayıcı ve yüksek süratli tekneler için tipik tekne formları sırasıyla gösterilmiştir.

Detaylı bakmak gerekirse YHKT' lerin dibindeki birinci enine basamak üstten görünüşte üçgen şekillidir. Yanlardaki oluklar ise küçük ve basamaktan sonra gemi boyunca devam eder.



1-Merkez hattında kavitenin profili 2-Çene hattı; 3-Kavite başlangıcı formu; 4-Kavite başlangıç kesiti ; 5-Kavite öncesindeki posta; 6- Ayna kıştaki posta kesiti; 7-Kavite; 8-Kavitenin arka formu; 9- Gaz kaçı; 10-Gazın verildiği yer

Şekil 2,2 : YHKT'ler için tek basamaklı varyasyonun şematik çizimi

2.1.1 Tekne Form Dizaynı:

En çok tavsiye edilen dizayn yaklaşımı: başlangıçta gemiyi özellikle kavite kavramına uygun boyut, yük, motor optimizasyonuna göre yeni dizayna adapte etmektir. Bu aynı zamanda maliyet açısından da en etkin YHKT dizayn tekniğidir.

Dip yapı dizaynı iki temel koşulu karşılayacak şekilde olmalıdır:

- (1) Kavite en azından ıslak alanın %40-50' sini suyla temasını kesmelidir.
- (2) Dip geometrisi minimum hava beslemesi ve yeterli kavite basıncına göre dizayn edilmelidir. Deneysel yöntem, bunlara ek olarak minimum çekme direnci koşulunu içerir. Bu başarılı dizaynın ana belirleyicisidir.

YHKT dip yapı dizayn işlemi aşağıdaki gibidir:

- (1) Başlangıçtaki(kavitesiz) tekne formuyla çekme deneyleri, kaviteli deneylere referans olması için yapılır.
- (2) İleriki safhalar için, hesaplamalarla kavitesiz tekne formunun dibindeki basınç dağılımlarının bulunması.
- (3) Dip yapının bilgisayarla dizaynı.
- (4) Dip tekne yapısının maksimum direnç düşüşü için optimizasyonu. Kaviteye verilecek havayı verecek uygun bir fan'ın seçilmesi için gereken hava debisi ve basınç değerlerinin deneylerle belirlenmesi.
- (5) Sevk sistemiyle beraber yapılan deneyler.
- (6) Gerçek gemi için direnç, dolayısıyla direnç düşüşü hesabının yapılması.

Yukarıda belirtilen her bir madde başarılı bir dizaynın basamaklarıdır. Bunlara ek olarak eğer gerekliyse dizayn işlemine denizcilik ve manevra model deneyleri de eklenebilir.

Kavite etkisini iki yaklaşımla hesaplayabiliriz: Bunlardan birincisi: Dirençteki düşüş dolayısıyla yakıt tasarrufu, diğeri ise ulaşılabilinen en yüksek hızdaki artımın gözlenmesi.

2.1.2 İnşaa Edilmiş Teknelerin Temel Karakteristiği:

17 yıllık bir zamanda Rus tersaneleri beş dizayndan oluşan elli YHKT siparişi almışlardır. Bunlar tablo 1'de görülmektedir:

Linda : 30 deniz mili dizayn hızlı, 70 yolcu kapasiteli bir nehir gemisi olarak dizayn edilmiştir. Şu anda Göl/Nehir gemisi olarak sınıflandırılmıştır. **Serna** : orijinal olarak dizayn edilmiş 45 ton kapasiteli bir çıkartma gemisi, daha sonraları ticari amaçla konteynır gemisi olarak kullanılmıştır, Linda ve Serna hakkında detaylı bilgi 'Jane's High-Speed Marine Transportation 1997-98' den edinilebilir. Hızlı bot olan **Sajgak** ve **Merkurij** keşif amaçlı hücumbot, **Muflon** ise deniz uçağı çekmede kullanılan bir romörkör olarak inşaa edilmiştir. Sajgak ve Muflon'da yapay kavite hava yerine dizel egsozuyla, Serna, Merkurij ve Linda'da yapay kavite fanlar yardımıyla dibi havayla besleyerek oluşturulmaktadır.

2.1.3 Kullanılan Sevk Sistemleri

Yapay hava kaviteli teknelerde konvansiyonel gemilerde kullanılan normal pervanelere ek olarak, şaftları ayna kıçtan geçen yüzeyi yaran pervaneler ve su jetleri kullanılmaktadır.

Konvansiyonel hatveli pervaneler kullanırken, şaft mümkün olduğu kadar tekneden uzakta ve kavitedeki havanın pervaneyi kötü yönde etkilememesi için özel bir düzeneğin içinde bulunması gerekmektedir.

Sevk sistemleri arasında yapılan en iyi seçim, yüzeyi yaran pervaneleri kullanmaktır.(SPP: Surface Piercing Propellers) SPP'ler ayna kıçın arkasına yapay kaviteden etkilenmeyecek bir yere konur. Arnison tipi uygulandığında yüzeyi yaran pervaneler, direnç düşüşü anlamında en iyi kavite etkisinin alındığı sevk sistemleridir.

Su jeti sevk sistemindeyse, su jetinin su girişi kısmının kavitedeki havanın su jetine kaçıp performansını düşürme olasılığına karşılık özel bir düzenleme söz konusudur ki bu düzenleme dip yapıda yapılan ufak bir modifikasyonla mümkündür ancak su girişi için açılan alan öncelikle dipteki kavite alanını düşürmekte ve sevk sisteminin verimini arttırmaya yönelik modifikasyonlar tekneye ek direnç getirmektedir. Bunun içindir ki sujetli gemilerin kavite etkileri yüzeyi yaran pervaneli gemilere göre %20 daha azdır.

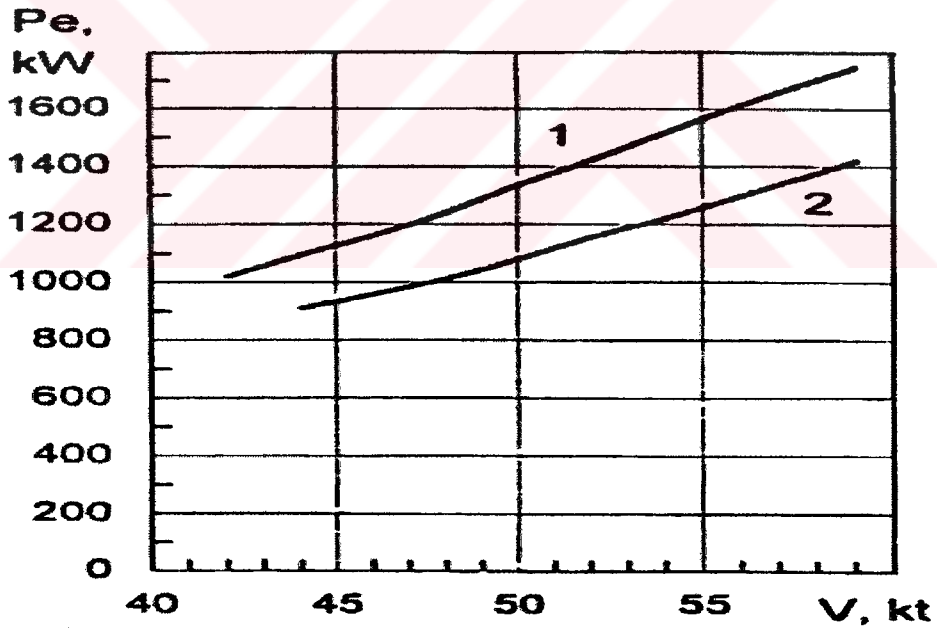
Ventjet ise KSRI'da geliştirilen özel tip bir sevk sistemidir(Ibragmova, 1995). Her ne kadar bilinen su jetine göre daha az verimlilik gösterse de su jetlerine kıyasla hava nüfuziyetine göre daha az hassas bir sistem olduğu görülmüştür. Ventjetler, yüzeyi yaran pervanelerde olduğu gibi ayna kıçın arkasına monte edilebiliyorlar bu da şüphesiz dip kavite etkisinin daha iyi kullanılabileceği anlamına gelmektedir.

2.1.4 Yapay Hava Kaviteli Yüksek Süratli Teknelerin Verimi

Rusya'da inşaa edilen kayıcı ve yarı kayıcı teknelere uygulanan yapay kavite, kardeş gemilere göre 3-5 knotluk hız artırımlarıyla sonuçlanmıştır. Bu da gemi direncindeki %20-35 düşüşe karşılık gelmektedir. (Yapay kavite için gereken hava makine gücünün %1-3'üyle sağlanmıştır). En yüksek etki bir nehir yolcu gemisi olan Linda'da sağlanmıştır.(Tablo 2,1)

Tablo 2,1: Bazı YHKT özellikleri

	Linda	Serna	Sajgak	Muflon	Merkurij
İlk geminin teslim tarihi	1992	1992	1981	1992	1997
Sayısı (seri)	5	5	40'dan fazla	1	2
Deplasman(t)	24.6	105	13	13.2	99
Boy (m)	24.1	25.65	14.05	15.5	35.4
Genişlik (m)	4.6	5.85	3.5	3.56	8.3
Draft (m)	0.95	1.52	0.65	-	2
Makine gücü(hp)	900	2*3305	1000	1500	2*5000
Maks. Hız	38	32	40	50	50'den fazla
Sevk sistemi	SPP	Vent Jet	Su jeti	SPP	Pervaneli



Şekil 2,3; Hıza Karşılık Efektif Güç Gereksinimleri 1-Kavitesiz form, 2-YHKT

Tablo 2,2’de sabit hızda direnç düşüşü ve sabit güçte hız artımına göre farklı tekneler karşılaştırılmıştır. R^o ve V^o simgeleri: Prototip geminin (yapay kavitesiz) direnç ve hızlarını, Y_c / W oranı ise yapay kavitenin etkisiyle oluşan kaldırma kuvvetinin tekne ağırlığına oranını belirtmektedir. SAC1 ve SAC5 Arneson yüzeyi yaran pervaneleriyle sevk edilmekte, diğerlerinin sevk ise su jetleriyle sağlanmaktadır. Su

jetini korumaya yönelik yapılan dip yapıdaki modifikasyonlar nedeniyle kavitenin direnç düşüş etkisi %25 oranında azalmadığı görülmüştür.

Tablo 2,2: Farklı dizaynlar için dip kavite etkisi hesapları

	V Kn	F_{nv}	$\Delta R/R_T^0$ %	ΔV kn	$\Delta V/V^0$ %	Y_c/W %
SAC-1	50-55	4.7-5.1	20-21	6.5-7	13-16	30
SAC-2	40-50	1.7-2.1	17-22	3-6	7-12	55
SAC-3	40-50	2.1-2.6	21-24	3-5	7-10	50
SAC-4	35-40	2.6-2.9	22-26	2.5-3	7-9	50
SAC-5	12; 29	1.0; 2.3	19; 20	1.2; 2.5	10; 8	60; 50

Toplam direnç ilk olarak şu formülle kabul edilmiştir: $R_T = R_R + R_F + R_A$ yapay hava kavitesi bu direnç bileşenlerinden bu tip gemilerde direnç düşüşünde baskın olan sürtünme direnci üzerinde etkilidir fakat orta hızda sürtünme direncinin toplam direnç oranı küçüldüğü için kavite etkisi azalmaya başlayacaktır.

KSRI' da çeşitli gemiler özellikle de katamaranlar üzerinde yapılan çalışmalar yukardakilerin tekrar gözden geçirilmesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Katamaranlarda dip yüzeyin ıslak satıha oranı tek gövdeli teknelere göre daha düşüktür. Bu nedenle katamaranlara uygulanacak yapay kavitenin bu teknelerin direnç düşüşlerine etkisinin %8-12 ya da yaklaşık iki üç kat daha az olması beklenir. Oysa ki yapılan model deneyleri sonucu katamaranlarda %20 daha fazla kavitenin etkisi görülmüştür. Sonraki çalışmalarda kavitenin artık dirence etkisi araştırılmış ve sonuçta bazı gemilerde artık direnç düşüşünün sürtünme direncinden daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Dip kavitenin farklı direnç bileşenleri üzerindeki etkisi tablo 2,3'de verilmiştir:

Artık direnç düşüşü kavitenin yalnızca dibi izole etmediğini, aynı zamanda farklı bir form meydana getirerek dalga direnci açısından tekne çevresindeki akım koşullarını da değiştirdiğini göstermiştir.

Tablo 2,3: Hava yağlamanın farklı direnç bileşenleri üzerindeki etkisi

	$F_n \nabla$	$\Delta R/R_T^O$ %	$\Delta R_R/R_T^O$ %	$\Delta R_F/R_T^O$ %	$\Delta R_A/R_T^O$ %
SAC-1	4.7-5.1	20	-6	23	3
SAC-2	1.7-2.1	16-22	7-10	7-10	2-3
SAC-3	2.1-2.6	21-24	10-11	9-10	2-3
SAC-4	2.6-2.9	22-26	13-14	7-9	2-3



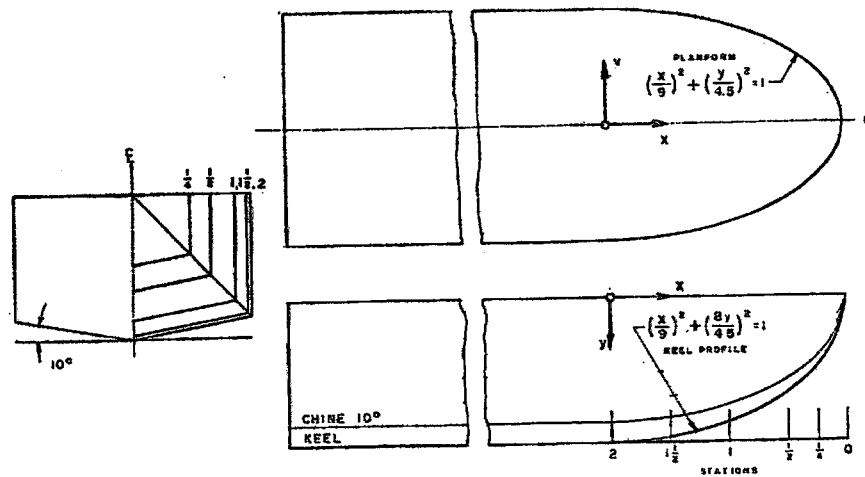
2.2 YAPAY HAVA KAVİTELİ BİR TEKNE'NİN DENEYSEL ANALİZİ

2.2.1 Yapılan Deneyler

Yapay hava kaviteli bir teknenin incelenmesi amacıyla Ata Nutku Gemi Model Deney Havuzunda deneysel çalışmalar yapılmıştır Gökçay (2001). Bu bölüm yapay hava kaviteli teknelerin direnç karakteristikleri hakkında genel bir bilgilendirme amacı taşımaktadır.

Yapılan deneylerde amaç yapay kavitenin tekne direnci üzerindeki etkilerini görmek ve ileriki çalışmalara öncülük edecek bir takım temel bulguları edinmektir. Bunun için kontrollü deney yöntemi seçilmiştir. Bilindiği gibi kontrollü deneyde parametrelerden biri değiştirilerek öteki parametrelere olan etkisi gözlemlenir. Bu yöntem doğrultusunda Ata Nutku Gemi Model Havuzu atölyesinde iki tip model yapılmıştır (HC ve AC).

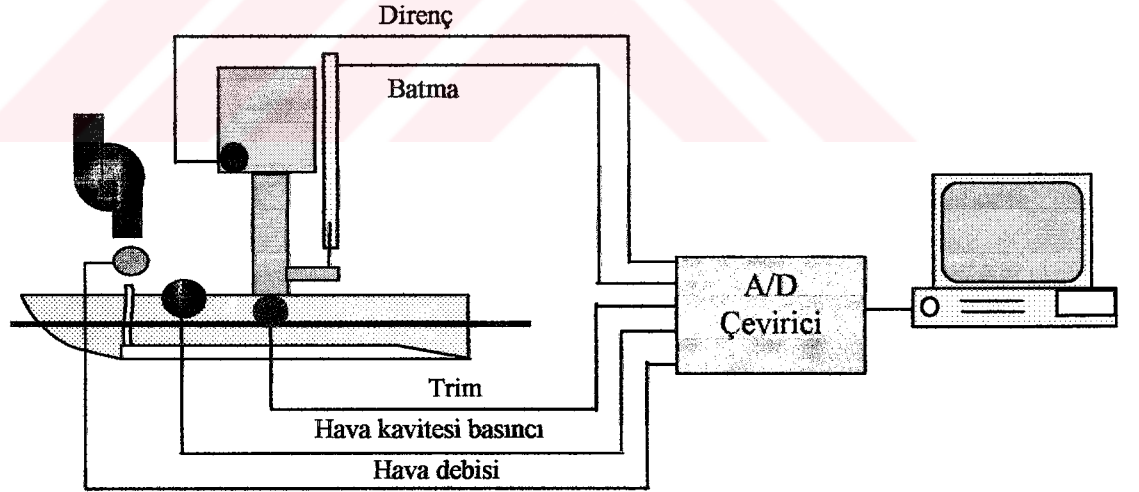
Model yapımı için iki ayrı malzeme seçilmiştir. İleride yapılabilecek çalışmalarda farklı boydaki gövdelerde denemek, diğer modellerin yapım süresini kısaltmak amacıyla her iki tip gemi için de aynı baş modeli kullanılmıştır. Modelin baş kısmı atölyede en kolay işlenebilen ahşap malzeme olması nedeniyle ahşaptan (kestane ağacı), gövde kısmı ise oluşturulan yapay kavitedeki olayları görebilmek için saydam bir malzeme olan pleksiglastan yapılmıştır. Pleksiglastan ahşap gibi yontulamaması, geleneksel gemi hatları şekline sokulamaması ve pratik bir yapım olması nedeniyle tekne gövdesi prizmatik olarak dizayn edilmiştir.



Modelin baş formu, yapımında bize getireceği pratiklik ve çabukluk nedeniyle kolay bir formda seçilmiştir. Savitsky ve Brown (1976) tarafından verilen 10 derecelik kalkım açısına sahip parabolik form kullanılmıştır.(Şekil 2,4)

Basit yapay kaviteli form HC formunda kullanılan aynı baş formuyla yapılmış ancak HC formundan farklı olarak ayrı bir pleksiglas model üretimiyle gemi boyunun %16.5 başından başlayan ve kıçta gemi boyunun %30'u kadar bir rampayla sona eren basit bir kavite oluşturulmuştur. Kavite eninin model genişliğine oranı 0.375 olarak, derinliği ise model draftının %34'ü olarak seçilmiştir.

Kaviteli formda AC0 olarak kodlanan hava verilmeyen modeldir. Hava beslemesi için düzgün ve sürekli hava verebilen bir hava fanı kullanılmıştır. Verilen havanın miktarı, bir ayar vidasıyla ve boru hatında belli yerlerden açılan hava kaçışlarıyla ayarlanmış, borudaki akış hızı Hot Wire Anemometresi ile ölçülmüştür. (Şekil 2,5) AC1 olarak kodlanan modelde, kaviteye $9.7\text{m}^3/\text{saat}$ debiyle hava verilmiş, AC1 olarak kodlanan modelde ise kaviteye $20.1\text{m}^3/\text{saat}$ debiyle hava verilmiştir. Böylece hava debisinin kavite oluşumundaki etkisi incelenmiştir. (Şekil 2,5)



Şekil 2,5; Deneylerde kullanılan veri toplama sistemi

Toplam direnç ölçümleri, batma ve trim ölçümünde sırasıyla load cell, LVDT ve potansiyometre kullanılmıştır. Bunlara ek olarak dalga formlarının ve dolayısıyla enerjilerinin incelenmesi amacıyla havuz ortasında bulunan dalga probaları yardımıyla dalga ölçümleri de yapılmıştır.

2.2.2 Deney Sonuçları

Deneyler 0.2-1.0 Froude sayıları aralığında yapılmış ve düşük hızlarda havanın kaviteyi takip ederek aynadan kaçtığı, tekne hızının artışıyla beraber bu kaçışın kaybolduğu ve yanlardan hava kaçışının başladığı gözlemlenmiştir.(Şekil 2,6) Kavite boyu, hava veriş hızına ve tekne hızına bağlı olarak değişmektedir.

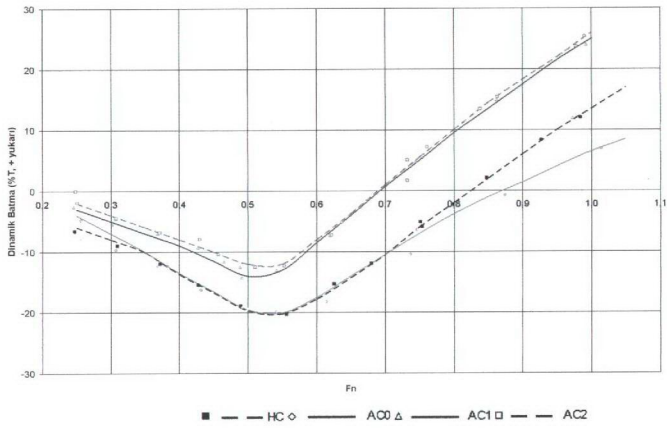


Şekil 2,6: Yanlardan ve arkadan hava kaçışları;

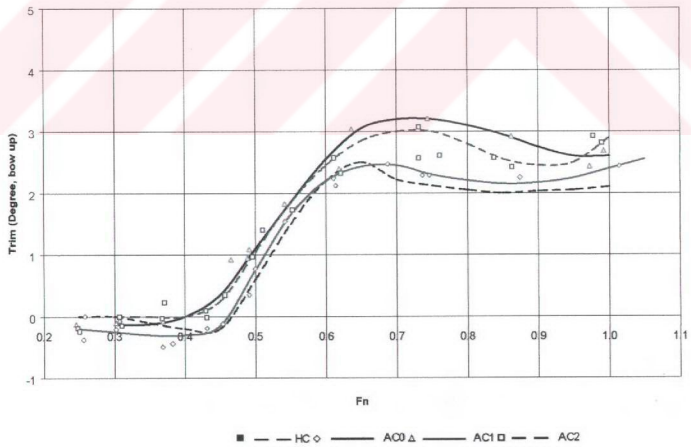
Toplam direnç ölçümleri şekil 2,7’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre HC ve AC0 formlarını karşılaştırdığımızda $Fn:0.3-0.8$ arasında AC0 formu HC formuna göre %2-%10 arasında değişen direnç artışı sergilemektedir.

Hava verildiğinde ise (AC1,AC2) Fn 0.6 civarında %10, Fn 1.0 civarlarında ise %20’ye varan direnç düşüşleri olduğu görülmektedir. Hava veriş hızının toplam direnç üzerinde fazla etkili olmadığı görülmüştür.

AC1 ve AC2 formlarındaki direnç düşüşü sürtünme alanının azalmasından ,ıslak yüzey alanının hava kavitesinin kaldırma etkisi sayesinde azalmasından ya da son olarak artık direnç azalmasından kaynaklanabileceği olasıdır. Bunun için batma ve trim ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlere bakıldığında hava verilen formlarda kaldırma etkisinin hava verilmeyen forma göre %10’luk bir draft düşüşüne neden olduğu ortaya çıkmıştır. Trim açılarına bakıldığında AC1 ve AC2’nin daha büyük trim açılarına sahip olduğu görülmektedir.(Sekil 2,7-2,8)



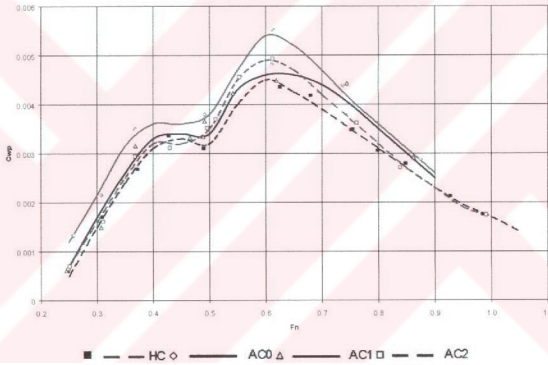
Sekil 2,7; Dinamik batma eğrileri



Sekil 2,8; Dinamik trim eğrileri

Dalga dirençlerine bakıldığında (Şekil 2,9) AC0'ın tüm hızlarda en yüksek dirence sahip olduğunu ve 0.5 froude sayısının üstünde HC, AC1 ve AC2 formlarının karşılaştırılabilir olduğunu görmekteyiz. Bu hızın üstünde AC1 ve AC2 formları daha fazla dalga direnci göstermektedirler.

Dalga açılarına göre incelendiğinde örnek olarak 0.49 Froude sayısında yani ana tepe noktasında AC1 ve AC2 formları enine dalga sisteminde daha yüksek bir direnç göstermektedir. Bu da bize hava debisinin artması enine dalgaları arttırdığını göstermektedir. Bu durumda yanlardan hava kaçıışı enine dalgaların oluşmasında etkili bir rol oynamaktadır sonucu çıkarılabilir. Bu durum enine dalga sistemi için 0.49 üstü hızlarda daha da baskın hale gelmekte enine dalga sistemi daha fazla artarken boyuna dalgalar azalmaktadır.

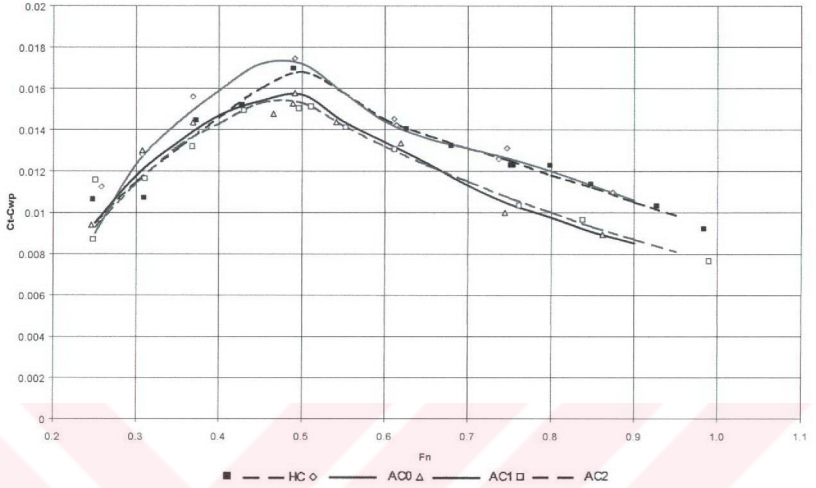


Şekil 2,9; Dalga Direnç Katsayıları

Hava kaviteli teknelerindeki direnç düşüşü üç nedene bağlanabilir:

- Islak yüzey alanının kaldırma etkisiyle azalması
- Kavite içi ıslak yüzey alanının hava kavitesi nedeniyle azalması,
- Dalga enerjisinin değişimi

Şekil 2,10; Viskoz direncin yani toplam direnç – dalga direnci farkını göstermektedir. HC ve AC0 formları benzer viskoz dirençlere sahipken AC1 ve AC2 formları diğerleriyle karşılaştırıldığında %20 daha az viskoz dirence sahiptirler. Bu bilgi yapay hava kavitesinin özellikle viskoz direnci düşürmeye yönelik etkisini kanıtlamaktadır.



Şekil 2,10; Viskoz direnç karşılaştırmaları

Yapılan deneyler sonucunda konvansiyonel kayıcı bir teknenin altında kavite oluşturma sonucunda teknenin direncinde düşük hızlarda %10, yüksek hızlarda da %2'ye varan artışlar saptanmıştır.

Meydana getirilen bu kaviteye hava beslemesi yapıldığında ise %20'ye varan toplam direnç düşüşleri elde edilmektedir. Direnç bileşenlerinde yapılan ölçümler göstermektedir ki dalga enerjisinde de verilen havanın neden olduğu basınç alanı değişiminden dolayı düştüğü ancak bu düşüşün viskoz direnç düşüşüyle karşılaştırıldığında oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Kaviteye verilen hava debisinin direnç düşüşünde çok az etkili olduğu dolayısıyla çok daha az havayla bu oluşumun sağlanabileceği, verilen havanın sadece bu kaviteyi oluşturmada ve hava kaçışlarından kaybedilen havayı tekrar doldurmakta kullandığı farkedilmiştir.

Deneylerde görülen sevindirici sonuçlar yapay hava kaviteli teknelerin geliştirilmesi konusunda umut verici olmuş, optimum kavite formlarının araştırılmasına yönelik kavite parametrelerinin incelenmesi konusunda bizleri motive etmiştir. Sonraki bölümlerde kavite oluşumunun doğası, bu oluşumu

etkileyen parametreleri incelemek için yapılan hem numerik hem deneysel çalışmalardan bahsedilecektir. Bu çalışmalarda deneylerin kılavuzluğunda uygun bir numerik model kurmak amaçlanmıştır. Kurulan model ileriki çalışmalarda yapay hava kavitesinin geliştirilmesi amaçlı parametrik çalışmalara bir temel teşkil etmektedir.

3.YAPAY HAVA KAVİTESİ OLUŞUMUNUN NUMERİK MODELLENMESİ

Bir cisim etrafındaki akım alanının deneysel olarak incelenmesi uzun bir geçmişe dayanmasına rağmen numerik akım çözümlerinden tatminkar sonuçlar alabilmek, ancak gelişmiş bilgisayar tekniklerinin gündeme gelmesiyle mümkün olmuştur. Farklı başlangıç ve sınır koşullarına sahip akım problemleriyle ilgili bilgi elde etmek için kullanılan pahalı ve zahmetli deneysel metotlara alternatif olarak geliştirilen hesaplamalı akışkanlar dinamiği (Yazıda CFD olarak kısaltılacaktır), bu çalışmada incelenen siğiller arkasındaki akım alanı özelliklerinin belirlenmesi problemine uygulanmıştır.

3.1 CFD

CFD, akışkan akımı içeren sistemlerin bilgisayar yardımıyla modellenerek analiz edilmesidir. Gün geçtikçe endüstriyel işlemlerin ve ürünlerin tasarımında vazgeçilmez bir eleman haline gelen CFD, deney esaslı yaklaşımlara göre pekçok avantaja sahiptir. Bu avantajlar:

- Tasarım aşamasında zaman ve maliyet yönünden önemli ölçüde tasarruf sağlaması,
- Deneysel olarak incelenmesi zor veya mümkün olmayan sistem ve problemlerin incelenmesine olanak tanınması,

- İncelenen problemle ilgili ayrıntılı sonuç sağlamasıdır.

Deneysel bir çalışmanın maliyeti ile karşılaştırıldığında, özellikle parametrik ve sistem performansının optimizasyonuna yönelik çalışmalarda, CFD oldukça ucuz ve tatbiki kolay bir yöntemdir. Bu nedenle de geniş bir kullanım alanına sahip bulunmaktadır. Bu yöntemin kullanıldığı bazı alanlar,

- Hava ve kara taşıtlarının aerodinamik tasarımı,
- Gemilerin hidrodinamik tasarımı,
- Binanın iç ve dış tasarımı (Rüzgar yükleri, ısınma, havalandırma),
- Deniz teknolojisi mühendisliğinde açık deniz yapılarına gelen yüklerin hesabı,

-Biomedikal mühendisliği (Arter ve kalp kapakçıklarındaki kan akımının modellenmesi)

Son yıllarda üniversiteler veya araştırma kuruluşları tarafından geliştirilen çok sayıda ticari CFD yazılımı, araştırma, geliştirme ve tasarım aşamalarında yaygın bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Bu yazılımlardan bazıları, PHOENICS, FLUENT, FLOW3D ve STAR-CD yazılımları olup, bu çalışmadaki numerik modelleme FLUENT V6 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

3.1.1 CFD YAZILIMLARI

CFD yazılımları akışkan problemlerini çözebilecek numerik algoritmalar etrafında yapılandırılmıştır. Tüm ticari yazılım paketleri, incelenen problemlerin parametrelerinin tanımlanması ve sonuçlarının değerlendirilmesine yönelik ayrıntılı yönlendirme seçeneklerine sahiptir. Ancak yazılımlar temel olarak üç elemandan oluşur:

1. Veri giriş modülü (Pre- Processor)
2. Hesap Modülü
3. Değerlendirme modülü (Post-processor)

Veri giriş modülü: Bu modüle incelenecek olan akım probleminin girdileri tanımlanır ve bu veriler hesap modülünün kullanabileceği forma dönüştürülür. Bunun için ilgilenilen bölgenin geometrisi tanımlanıp, bu geometri üst üste binmeyecek şekilde çok sayıda alt bölgeye (hücreler) ayrılarak hesap ağı oluşturulur. Modellenecek olan fiziksel veya kimyasal olay ile akışkan özellikleri ve sınır koşulları tanımlanır. Çözümün doğruluğu, hesap ağı içerisindeki hücre sayısı ile orantılıdır. Hücre sayısı arttıkça çözüm doğruluğu da artar.

Hesaplama modülü: Kullanılan nümerik metod dahilinde hesap modülü şu adımları izler; Bilinmeyen akım değişkenleri basit fonksiyonlarla tahmin edilir. Ayrıklaştırılmış yönetici akım denklemleri bu tahmin atanır. Elde edilen cebrik denklemler çözülür. Hesap döngüsü, istenilen hata yüzdesi yakalanana kadar devam eder. CFD yazılımlarının çoğunda nümerik metod olarak sonlu hacimler yöntemi kullanılmaktadır.

Değerlendirme modülü: Akımların nümerik simülasyonu, hesaplama sonunda elde edilen sonuçların grafik olarak sunulması durumunda daha kolay anlaşılır. Sonuçlar seçilen ticari data görüntüleme olanakları dahilinde alfanümerik ve grafiksel olarak değerlendirilir.

3.2 FLUENT V6

Fluent V6, akışkan akımının, ısı transferinin ve kimi zaman bunlara eşlik edebilen kimyasal reaksiyonun modellenmesinde kullanılan geliştirilmiş genel amaçlı bir bilgisayar programıdır.

3.2.1 PROGRAMIN UYGULAMA ALANLARI:

Program aşağıda sıralanan pekçok fiziksel olayın modellenmesinde kullanılabilir:

- Sıkıştırılabilir ve sıkıştırılmaz akımlar
- Laminar veya türbülanslı akımları
- Isı transferi problemleri
- Kimyasal reaksiyon problemleri
- Non-Newtonien akışların laminar akımları
- Boşluklu ortam içerisindeki akımlar
- İki fazlı akımlar

3.2.2 Kullanılan Çözüm Tekniği

Fluent bahsedilen problemleri modellerken sonlu hacimler metodunu kullanır. Yönetici denklemler olan kütle ve momentum korunumu denklemlerini (Problemin tamamına bağlı olarak enerji korunumu ve kimyasal korunum denklemleri de yönetici denklemlere dahil edilir.) kompleks ve irregüler geometrilere hesap yapımını mümkün kılabilmek için hesap ağı boyunca ayrıklaştırma işlemine tabii tutar. Ayrıklaştırma işlemi, yönetici diferansiyel denklemlerin, hesap ağı içinde herhangi bir hücredeki değişkenin komşu hücrelerdeki değişkenler cinsinden ifade edilebildiği yeni bir denklem haline dönüştürülmesidir. Hız ve basınç değerleri hücre içerisinde non-staggered ağ sistemi kullanılarak saklanır. Bahsi geçen ayrıklaştırma işlemine tabii tutulan, SIMPLE (Semi- Implicit Method for Pressure Linked Equations) iteratif metodu kullanılarak çözülür. Bu method, ayrıklaştırılmış akışkan akımı denklemlerinden hız-basınç değişkenlerinin birbirine bağlı tahmininde kullanılır.

3.2.3 Kullanılan Türbülans Modeli

Fluent V6 yazılımı türbülanslı akım modellemesinde Spalart-Almaras, k-epsilon, k-omega ve Reynolds Stress gibi seçenekler sunmaktadır. Bizim problemimizde Re sayısı 40000 ile 85000 arası olduğundan (Burada Reynold sayısı Basamak Yüksekliğine bağlı olarak hesaplanmıştır) uygulanması açısından pratik ve bu aralıkta diğer modellere nazaran daha başarılı olduğu için Spalart-Almaras modellemesine gidilmiştir.

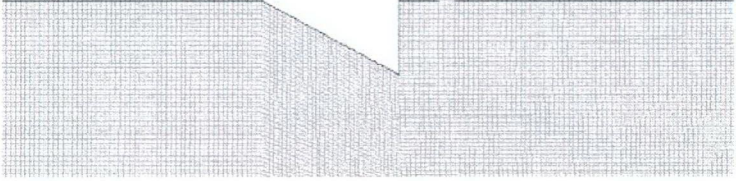
3.3 NUMERİK MODELLEME

Farklı hızlara sahip akım ortamında 15, 22.5, 30, 37.5 ve 45 dereceli, basamak yüksekliği 50mm olan beş farklı açıdaki siğil Fluent V6 yardımıyla iki boyutlu olarak incelenmiştir. Bu çalışma ileriki çalışmalara bir temel teşkil etmektedir. Modellemenin deneydeki verileri doğrulaması durumunda farklı basamak yüksekliklerine sahip ve eklenecek birkaç açılı geometri üzerinde parametrik çalışma yapılması düşünülmüştür. Deneysel yöntemde anlatılacağı gibi bu çalışmada da öncelikle havasız varyasyon üzerinde çalışılmış, ayrılma bölgesi özelliklerinin kurulan model sonucunda ne kadarının görülebildiğine bakılmıştır. Bu çerçevede hızın etkisini görmek amacıyla birinci aşamada aynı geometri üzerinde farklı hızlarda çözümler analiz edilmiş daha sonra aynı hızda iki ayrı geometrinin farkı analiz edilmiştir.

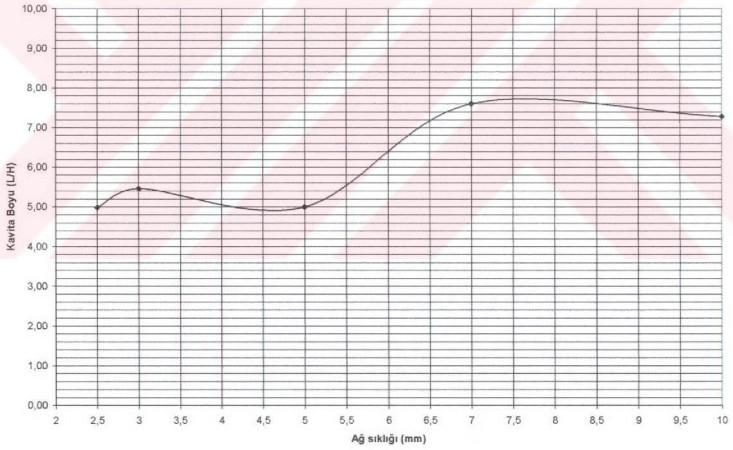
Nümerik modellemede ilk aşama, geometrinin ayrıklaştırılarak programın üzerinde işlem yapabileceği bir hale getirilmesidir. Ayrıklaştırma işlemi çözümün güvenilirliği açısından oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir. Problemimizde özellikle ayrışma bölgesi beklenen yerdeki yani siğilin hemen arkasındaki ağ yoğunluğunun yeterince sık olmaması durumunda birtakım çevriler gözden kaçabilir bu da bizi yanlış sonuca götürecektir. Bu nedenle deneme yanılmalarla bulunan bir ağ yapısında karar kılınmıştır. Geometrinin basitliği dolayısıyla hücre tipi olarak dörtgensel hücreler kullanılmıştır. (Şekil 3,1)

Problemın ayrıklaştırılmasında seçilen ağ sıklıklarının sonuçlar üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüş; doğru ağ sıklığının tayini için aynı geometri ve belli bir akış hızında farklı ağ sıklığında ayrıklaştırılmış problem çözülerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. (Şekil 3,2) 22.5 derecelik siğil, 0,9m/s su akış hızı için 2.5, 3, 5, 7

ve 10mm ağı sıklıkları için denenmiş 3mm'lik sıklığın kullanılması kararlaştırılmıştır.
(173.116 noktalı)



Şekil 3,1; Modellemede kullanılan ağı yapısı (Ağı aralığı 0.03m)



Şekil 3,2; Ağı sıklığının kavite boyu üzerindeki etkisi.

3.3.1 SINIR VE ÇALIŞMA KOŞULLARI

Yapılan numerik modelin hangi koşulların kabulü altında yapıldığının, tanımlanan geometride bölgelerin ve sınırların problemin çözümüne yönelik ilk ve sınır değerlerinin doğru bir şekilde belirtilmesi gerekmektedir. Hesap yapan çözücü o değerleri baz alarak çözüme başlar ve iterasyonu devam ettirir. Bizim tanımladığımız geometri 3.05*0.65 boyutlarına sahip dikdörtgensel bir bölge içerisinde baştan 1m ileride konumlandırılmış 5 çeşit siğilden oluşmaktadır. (Şekil 3,3)

Veri girişi modülü olarak kullandığımız GAMBIT programında Şekil 3,3’de görülen geometriyi oluşturduktan sonra modellenecek olan bölgedeki akışkan özellikleri ve sınır koşulları tanımlandı. Levhanın önü hız girişi, arkası akım çıkışı ve siğil arkasında oluşturulan 10mm çapındaki bir aralıkta da başka bir hız girişi tanımlandı. Levha ve dip duvar sınır koşuluyla nitelendirildikten sonra bölge bir yüz olarak tanımlanarak 0.003m ağ aralığıyla düzgün bir şekilde dörtgensel küçük hücrelere bölündü. (Kullanılan hücre sayısı:171921 adet)

FLUENT V6 programına aktarılan bu geometri, viskoz model seçimi, kullanılan malzemenin ve birtakım fiziksel özelliklerinin seçimi gibi işlemlerden sonra hangi çalışma koşulu altında problemin çözüleceği, kolay bir şekilde programın sunduğu arayüz yardımıyla girilmektedir. Bizim problemimizde çalışma koşulu olarak yer çekimi çözüme dahil edilmiştir. Sınır koşulları bu safer bazı hızların yönlerinin ve büyüklüklerinin nicel olarak tanımlanmasıyla tekrardan belirlenir, veri tabanından çekilen maddelerin hangi bölgelere ait olduğu girildikten sonra problemin başlangıç değerleri tekrardan kontrol edilir ve iterasyon başlar. Problem yakınsayana kadar iterasyon beklenir ve işlem tamamlanınca çıktıların analizi için değerlendirme modülüne aktarılır.

Hava girişi (Ving)

x

Su girişi Vg

Su Çıkışı Vc

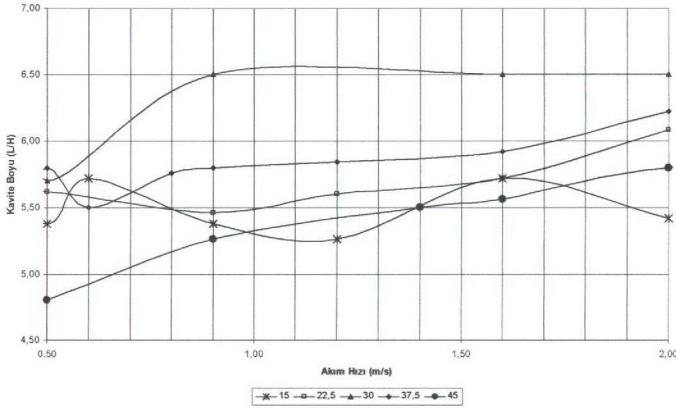
Şekil 3.3; Modellenen geometri

3.3.2 NUMERİK MODELLEME SONUÇLARI

Farklı hızlara sahip akım ortamında 15, 22.5, 30, 37.5 ve 45 dereceli, basamak yüksekliği 50mm olan beş farklı açıdaki siğil Fluent V6 yardımıyla iki boyutlu olarak incelenmiştir. 15 ve 30 derecelik açılar için 0.3,0.6 ve 1.2 m/s'lik akım hızlarında yapılan denemeler Ek A'da sunulmuştur. Yapay hava kavitesinde önemli bir etkiye sahip olan bağlanma çizgisi ve dolayısıyla kavite büyüklüğünü belirleyen parametrelerden biri olan bağlanma noktası modelleme sonucunda elde edilen grafiklerden bulunarak farklı hızların ve siğil açısının bu parametre üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Programın yukarıda belirtilen durumlar için çalıştırılması sonucunda genel olarak beklenen siğil arkasında düşük basınç ve hızı sahip çevrili akışlarla karşılaşmıştır. Siğil arkasında bir ayrılma bölgesi oluşmakta ve baskın olarak bu bölge içerisinde meydana gelen büyük bir çevri gözükmektedir. Bölgenin sınırını belirleyen “yeniden bağlanma hattı” grafiklerden seçilebilmektedir. Bu hattın ve yeniden bağlanma noktası tayininde hız vektörleri grafiklerinden faydalanılmıştır.(EK-A) Siğilin köşesinden çıkan vektörler takip edildiğinde, belli bir hat boyunca paralel gitmekte ve daha sonra ayrılmalar başlayarak kimisi “ayrılma bölgesi” olarak adlandırılan bölgeye, kimisi de tam tersine bu bölgenin dışına doğru yönelmektedir. İşte levha yakınındaki (duvar sınır koşuluna sahip kenar) vektörlerde gözlenen bu ayrılmanın olduğu nokta “yeniden bağlanma noktası” olarak adlandırılmaktadır. Bu noktayla siğil ucunu birleştiren hatta da yeniden bağlanma hattı denilmekte ve ayrılma bölgesi için bir sınır oluşturmaktadır.

Hızın ayrılma bölgesinin büyüklüğü üzerindeki etkisine bakıldığında; genelde hız artımıyla beraber bu bölgede de bir artış gözlenmektedir. Bu konuyla ilgili ölçümler Şekil 3,4'de verilmiştir. Yeniden bağlanma hattının profili de grafiklere bakıldığında hızın değişimiyle farklılık göstermektedir.

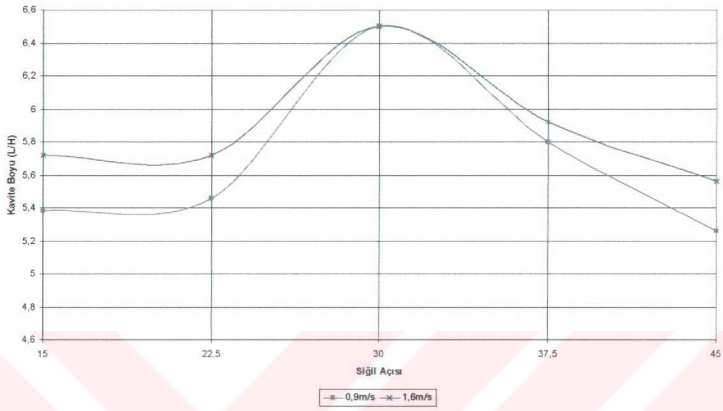


Şekil 3,4; Ayrılma bölgesi Uzunluğunun (L) hızla değişimi

Şiğil açısının ayrılma bölgesi üzerindeki etkisini incelediğimizde ise ilginç bir sonuçla karşılaşmaktayız .30 derecelik şiğil tüm hızlarda en büyük ayrılma bölgesini vermekte ve 0,9m/s akım hızından sonra bu değer hemen hemen sabit kalmaktadır. Ayrılma bölgesi büyüklüğünü sırasıyla 37,5, 22,5 ve 45 derecelik şiğiller takip etmektedir (Şekil 3,4 ve 3,5) ve bu geometriye sahip şiğiller için hızın artmasıyla ayrılma bölgesinde de bir artış gözlenmektedir. 15 derecelik şiğilde ise farklı bir karakteristikle karşılaşılmış, hız artımıyla ayrılma bölgesi bir salınım yapmaktadır.

Havasız durumdaki ayrılma bölgesi boyunun yapay hava kavite boyu üzerinde önemli bir rolü vardır. Çünkü ayrılma bölgesi sayesinde kinetik enerjisi ve basıncı düşük bir akım meydana gelmekte, verilen havayla bölge büyük bir oranda sudan kurtularak havayla dolmaktadır.

Şiğil arkasından hava verildiğinde ön deneylerde gözlemlenen; hava önce bölgeyi doldurmakta, fazla gelen hava ise bağlanma noktası civarında kabarcıklar halinde (Kabarcık büyüklüğü akım hızına göre değişmekte) bölgeyi terk etmekteydi. Numerik olarak yapılması çalışılan modelde ise hava düzgün bir şekilde ortamı terk ettiğinden levhayla model arasında düzgün bir hat oluşturmakta pratikte yaşanan olayı yansıtamamaktadır.



Şekil 3,5; Aynılma bölgesi Uzunluğunun (L) açıyla değişimi

4.YAPAY HAVA KAVİTESİ OLUŞUMUNUN DENEYSEL MODELENMESİ

Yapay hava kavitesinin incelenmesinde kullanılabilecek yöntemlerden biri de sistemin laboratuvar ortamında denenmesi ve amaca yönelik ölçümlerin yapılmasıdır. Bu çalışmada ayrılma bölgesinin büyüklüğünün ölçümü için akım görüntüleme tekniklerinden faydalanılmış buna ek olarak kanaldaki su hızının belirlenmesi için levha önünde toplam ve statik basınç ölçümleri yapılmıştır.

4.1 Akım Görüntüleme Teknikleri

Akım görüntüleme teknikleri oldukça uzun bir süredir akım olayının analizi ve yorumlanmasında tamamlayıcı bir araç olarak kullanılmıştır. Bunun nedeni akım alanına sadece ilgilinelen bölgeye yerleştirilebilen prob ve sensörler genel akım karakteristiği hakkında tam bir bilgi verememekte, böyle bir amaç için sensörlerle yapılan alan taraması hem zamanı hem de analizin karmaşıklığını arttırmaktadır dolayısıyla akım alanı bir bütün halinde değerlendirilememektedir.

Görüntüleme tekniklerinin en eskisi, akışkanların konuma ve zamana bağlı davranışlarının görüntülenmesidir. Bu teknikte akışkanı görsel olarak izlenebilecek forma sokmak için belli maddeler akım ortamına ilave edilir. İzleyicilerle görüntülenen akım, esas olarak Lagrange yöntemiyle belirlenmiş olur. Çünkü akım, hareket eden tanelerin yörüngelerine bağlı olarak izlenir. Aslında bu noktada akım görüntüleme teknikleri dolaylı bir yol olarak düşünülebilir. Bunun nedeni akışkanın kendisi değil, akışkana atılan yabancı tanenin hareketi gözlenmektedir. Akışkan hareketiyle yabancı tanenin hareketi arasındaki fark tane özgül ağırlığının, akışkanın özgül ağırlığına yakın seçilmesiyle minimize edilir, ancak tamamen ortadan kaldırılamaz. Akışkan olarak su kullanıldığında klasik tekneler ek olarak renkli boyalardan faydalınabilir. Besin boyaıarı kullanılarak farkı renklerde çoğul akım çizgileri yaratmak mümkündür. Başka bir boya tekniğı uygulaması fıırasn boyaıarın kullanımıyla elde edilir. Ancak bu durumda akım çizgilerinin izlenmesi, aydınlatma aletlerinin yardımıyla stratejik noktalarda mümkün olur. Su için akım görüntülemeye

kullanılan bir başka yöntem de küçük plastik taneciklerin kullanılmasıdır. Dağınık olarak gözlenebilen bu parçalar gözle daha rahat seçilebilmesi amacıyla alüminyum ve benzeri metalik boyalarla boyanabilirler. Taneciklerin akım hareketlerini tüm akım alanında izlerken aydınlatma tekniklerinden de faydalanılmalıdır. Hava ve gazlarda kullanılan izleme tekniklerinde, suda kullanılan boya methoduna benzer olarak duman kullanılmaktadır. Bu genel anlatımın sonunda akım görüntüleme tekniklerini iki grupta toplamak mümkündür:

1.Cidar Teknikleri: Akışkanın temasta olduğu katı cidar üzerinde uygulanan tekniklerdir. Katı cidarın özel bir malzeme ile kaplanarak akımın oluşturduğu değişkenlerin gözlenmesi bu grupta kullanılan tekniklerin ana prensibidir.

2.Akım-İçi Teknikler: Akım içinde belirli bir bölgenin tamamının, katı cidardan veya serbest yüzeyden akıma izleyici madde enjekte edilmesi veya akışkan üzerine önceden katılmış izleyici madde ile görünür hale getirilmesi bu tekniklerin esasını oluşturur (Avcı , Ders notları).

4.1.1 Cidar Teknikleri

- Suda çözülebilen boyalar: Potasyum permanganat ve süt bu grupta kullanılan izleyicilere verilebilecek iyi örneklerdendir.
- Yağlar: Hava akımlarının izlenmesinde kullanılır. Gazyağı, hafif dizel yağları bu grup izleyicilerine örnek verilebilir. Doğru neticeler, uygun boya inceltici oranlarının deneme yanılma ile bulunmasıyla alınır.
- Yağ-Boya karışımları: Katı yüzey uygun bir yağ boya karışımı ile boyanarak akım şartlarına maruz bırakılır ve cidar yakınındaki akım çizgileri belirlenir.
- İplik parçaları: Katı yüzey üzerine yapıştırılan iplik parçaları, cidar yakınındaki akım çizgilerinin belirlenmesinde kullanılır. Boyları en fazla akım çizgisinin eğrilik yarıçapı kadar olmalıdır.

4.1.2 Akım İçi Teknikler

- Serbest yüzeye bırakılan maddeler: En eski ve en kolay gerçekleştirilen metottur. Yansıtma özelliği yüksek olan alüminyum tozları, küçük kağıt parçacıkları bu metodda kullanılır. Su yüzeyinde oluşturulacak ince yağ tabakası ile akım çizgilerini gözlemlemek mümkün olduğu halde, bu yağın kısa sürede cidara yapışıp cidar etkilerini ortadan kaldırdığı da unutulmamalıdır.
- Akım içinde taneler: Akım içine taneciklerin bırakılarak bunların fotoğraflarının çekilmesi yoluyla akım hakkında bilgi edinilmesi yaygın olarak kullanılan bir methoddur. Yaygın olarak alüminyum tozu ve polistren taneleri kullanılmaktadır. Tanenin çapı ne denli küçükse akım ile özdeşleşerek akım özelliklerini o denli iyi yansıtır. Ayrıca yabancı madde konsantrasyonu akım şartlarını bozmayacak oranda olmalıdır. Çapı 0.5mm den küçük plastik orjinal polistren ve perpeks taneleri iyi birer izleyicidir. Bu taneciklerin hareketlerini fotoğraf yoluyla izlemek de mümkündür. Fotoğraf çekimi esnasında sürekli ışık kaynağı yerine “stroboskop” ismi verilen ve dakikada belirli sayıda flaş çakabilen kaynaklar kullanılsa, her tane, bir çizgi yerine ard ard gelen birçok nokta ile negatif film üzerinde görüntü bırakacaktır. Bu tekniğe “Straboskopik Fotoğraf” denir.
- Boya ve duman izleri: Sıvı akımlarında cidardaki bir delikten doğrudan akım içine boyalı sıvılar enjekte edilerek akım yapısının anlaşılmasına yardımcı olan boya ipçikleri elde edilir. Burada önemli olan boyanın verilirken akım yapısının bozulmamasıdır. Bunun için boyanın verildiği deliğin mümkün olduğunca küçük olması gerektirir. Deneylerde pekçok madde kullanılır. Bunlardan biri olan potasyum permanganant suda kolay diffüzyona uğraması nedeniyle tercih edilmektedir. Bunun yerine süt ve yiyecek boyaları ile renklendirilmiş süt yaygın olarak kullanılır. Sütün diğer bir özelliğinin de yansıtma özelliğinin yüksek olması nedeniyle iyi fotoğraf vermesidir. Fotoğrafla izlemede iyi sonuç veren başka bir madde ise florasan boyalarıdır. Fotoğraf ile yapılacak bir izlemede iyi bir aydınlatma ile olaya destek verilmelidir.
- Hidrojen Habbeciliği Yöntemi: Akıma yerleştirilen iki elektrot arasında oluşturulan elektroliz olayı nedeniyle açığa çıkan oksijen ve hidrojen kabarcıkları akımla birlikte sürüklenirler. Daha küçük oldukları için hidrojen kabarcıkları izleyici olarak tercih edilirler. Elektrik devresi açıldığında hidrojen tele paralel

bir ipik halinde akımın içine karışır. Bu işlemin belli bir frekansta tekrarlanması ile zaman çizgileri denilen hidrojen kabarcıkları sıraları oluşur. Zaman çizgileri akım şartlarına uygun şekile gireceklerinden bize enine hız profilini verir. Bir noktadaki hızı ölçmek istediğimizde telin diğer kısımlarını izole edip, yalnızca o kısımdan hidrojen kabarcığı elde ederek bunu sağlayabiliriz. Bu teknikte karşılaşılan problemler şunlardır: Türbülanslı akımlarda kabarcıklar hızlı dağıldığı için gözlenme zamanı kısaldır. Bu method 0.3m/s'den küçük hızlarda uygulanabilir. Reynolds sayısını küçültmek amacıyla elektrot çapı mümkün oldukça küçük seçilir bu ise telin dayanıklılığını ters yönde etkiler. Birkaç dakikalık deney sonunda katotda biriken yabancı maddeler deneyin kalitesini bozmaktadır. Burada elde edilecek sonuç üzerinde kabarcıkların büyüklüğü, telin çapı ve verilen elektrik şiddeti etkili olmaktadır. Bu faktörler denenerek en uygun hava kabarcığı çapı bulunmalıdır. Tüm bu yöntemlerin haricinde optik tekniklerle gerçekleştirilen pekçok yöntem de mevcuttur.

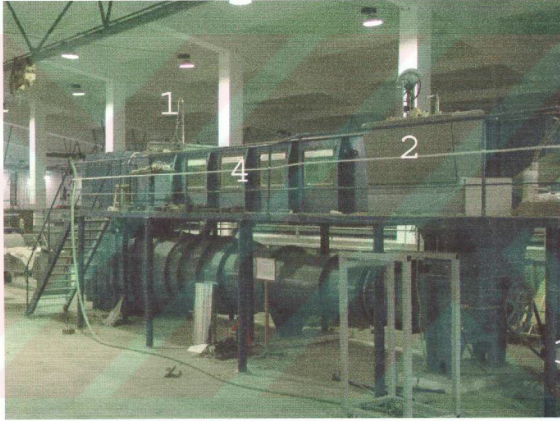
4.2 Deneyel Çalışma

Çalışmanın deneyel bölümünde, hem deney setinin hazırlanması ham de deneylerin yapımı aşamasında İTU Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarındaki olanaklardan faydalanılmıştır. Yukarıda bahsedilen akım görüntüleme tekniklerinden akım içerisine taneciklerin bırakılması metodu kullanılmış, hem belirlenen yerlerden akım içerisine renkli boncuklar bırakılmış hem de siğillere bağlanan iplikçiklerin hareketleri dijital kamerayla kaydedilerek görüntüler bilgisayar ortamında işlenmiştir.Yapay hava kavitesinin deneyel olarak incelendiğı bu bölüm şu adımlardan oluşmaktadır:

- 1.Üretilen iki farklı siğıl arkasındaki akışın farklı akış hızlarında havasız (tek fazlı) olarak incelenmesi, akım görüntülemesinin yapılması
2. Aynı incelemenin farklı hava verme hızlarında yapılarak hava kavitesiyle ilgili kavite boy ve yüksekliğı, hava kaçış yeri, şekilleri ve kavite içindeki basınç değışimleri gibi karakteristiklerin belirlenmesi.

4.2.1 Deney Sistemi

Deneyler Şekil 4,1 de görüldüğü gibi 6 m uzunluğunda, 1.5m genişliğinde ve 0.7m derinliğindeki bir sirkulasyon kanalında gerçekleştirilmiştir. Kanaldaki suyun sirkulasyonu, kanalın giriş ve çıkış kesitleri arasında bir lüle ve toplam motor gücü 35kw'lık, maksimum devri 1500RPM olan bir motorla sağlanmıştır. Akımın kanala giriş sırasında düzenlenmesi giriş kesitinde bulunan ızgaralar yardımıyla sağlanmış, oluşan su kabarcıklarının devri daimini engellemek, yabancı maddelerin kanal içine kaçarak içerideki impelere zarar vermesini engellemek ve akım görüntülemesinde kullanılan boncukların toparlanması için çıkış kesitinde bir ızgara ve onun ardından ince elek kullanılmıştır.



Şekil 4,1; Sirkulasyon kanalı; 1-Pitot tüpü, 2-Kontrol Panosu, 3- Motor, 4- Pencereler

Serbest su yüzeyi etkisinden kurtulmak amacıyla kullanılan siğiller, kanal üzerini 3.05m'lik boyunu tamamen kapatan 10mm'lik bir levhaya monte edilmiştir. Levhanın malzemesi yukarıdan bakıldığında akımı rahat izleyebilmek amacıyla şeffaf bir malzeme olan pleksiglas seçilmiştir.

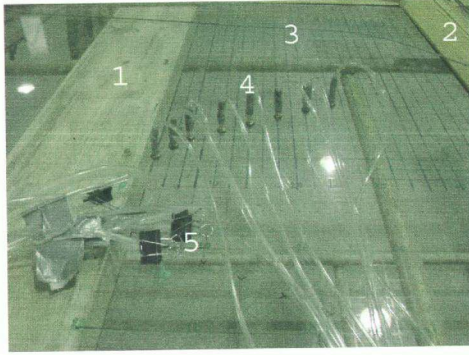
Akım ortamında yalnız başına pleksiglas levha düzlemselliğini koruyamayacağı ve yeterli mukavemeti sağlayamayacağı düşünülerek demir köşebentlerden levha boyutunda bir iskelet imal edilmiş, akımı bozmayacak şekilde havşa başlı paslanmaz civatarlar kullanılarak montaj yapılmıştır.

Levhaya montajı yapılacak siğiller eldeki imkanlarla üretilebilmesi açısından üçgen geometride seçilmiş ve yapımında kavak ağacı kullanılmıştır. Gemi model yapımında kullanılan kalınlık planyasına uyarlanan bir aparat yardımıyla başlangıçta 50mm yüksekliğe sahip 15 ve 30 derecelik iki ve 30mm yükseklikte 15 derecelik bir adet üçgen siğil üretilmiştir. Pürüzlülüğün minimuma indirilmesi ve dayanıklılıklarının fazla olması için siğillere iki kat dolgu verniği uygulanmıştır. Hazırlanan siğiller ağaç vidalarıyla pleksiglas levhaya baştan 980mm uzaklığa monte edilmiştir.

Siğil arkasında hava kavitesi oluşturmak için gereken havayı verebilmek amacıyla siğilin 20mm (Baştan 1m) gerisine hava deliği açılarak hortum monte edilmiş, kavitede hava ölçümleri alabilmek için Şekil 4,2’de belirtilen yerlere 8 adet basınç deliği açılmış ve R 1/8 standartlarındaki prinç armatürler teflon bant sarılarak kılavuz ile vida dişi açılan levhaya vidalanmıştır. Basınç armatürlerinin başına silikon hortumlar geçirilerek basınç ölçümüne hazır bir hale getirilmiş istenmeyen hava kaçışlarının engellenmesi için metal kısıkaçlar takılmıştır. (Şekil 4,2)

Akım görüntülemesinde bize yardımcı olması açısından levha üzeri 20mm’lik aralarla enine ve boyuna markalanmıştır. Siğiller üzerine her kesitte, biri akım düzleminde ve siğilin ucunda biri basamak arkasında hemen uçta, basamak ortasında ve basamak dibinde olmak üzere 5 ayrı kesite farklı uzunluklarda ve renklerde yün iplikler toplu iğnelere tutturularak çakılmıştır (2,4,8,12,16 ve 32cm).

Havasız durumda, ayrılma bölgesi boyu tayini için siğil arkasında basınç ölçümü yapılmasına karar verilmiş; bu amaçla levha altına monte edilerek farklı mesafelerde ölçüm yapabilen bir toplam basınç probu üretilmiştir.(Ek D)



Şekil 4,2; 1-Denenen siğil, 2- Profililere monte edilen direnç düşürücü siğiller, 3-Markalanan Pleksiglas, 4- Basınç Armatürleri, 5- Basınç boruları ve kısıkaçlar.

4.2.2 Ön Deneyler

Deneylere başlamadan önce kurulan sistem için en uygun koşulların ve eksiklerin belirlenmesi için 0.3,0.6,0.9,1.2,1.5 ve 1.8 m/s akım hızlarında sistem incelenmiş, akım görüntülemesi için farklı maddeler denenmiştir. Mürekkep, süt, talaş, mürekkepli süt, pleksiglas talaşı ve boncuk ayrı ayrı görüntülemelerde kullanılmış en uygun maddenin delikli boncuk olduğuna karar verilmiştir. Boncukların akım ortamına verilmesi için levha ve siğil üzerinde biri siğilin akım düzleminde diğeri de siğilin kaviteye bakan yüzünde iki delik açılmasına karar verilmiş, boncukların o deliklere taşınmasının bir plastik boru yardımıyla yapılması planlanmıştır. Siğillere takılan ipliklerin fazla izleme ortamının karıştırması ve görüntüleme deneyini bozması nedeniyle siğil uçlarında kalan iplikler dışındakilerin çıkarılması faydalı görülmüştür. Siğil arkasına hava verildiğinde levhanın cama denk gelen kısmında havanın aşırı kaçışı gözlemlenmiş bunu engellemek için levhanın kenarına levha normalinde siğille desteklenen yarım metrelik geçmez kalemle markalanmış pleksiglass parçasının konması kararlaştırılmıştır. Yüksek hızlara çıkıldığında levhayı destekleyen profillerin akımda bir süreksizlik yaratarak levha üzerinde zararlı bir dalga sistemi ve dolayısıyla direnç yarattığı gözlemlenmiş enine profillerin arka ve önlerine üçgen siğiller takılmasının daha yüksek hızlara levhayı zedelemekten çıkılabileceğini düşündürmüştür. Kanaldaki suda bulanma nedeniyle akım

görünleme deneyinin kalitesi düştüğü farkedilerek suyun temizlenmesi faydalı görülmüştür.

Yapılan ön deneylerde siğil arkasında meydana gelmesi öngörülen ayrılma bölgesi ve hava verildiğinde oluşması beklenen hava kavitesi gözlemlenmiş yapılacak eklemeler ve düzeltmelerle daha başarılı bir deneyin yapılabileceği ortaya çıkmıştır.

4.2.3 Deneylerde İzlenen Yöntem

Deneyin yapıldığı sirkulasyon kanalındaki su akış hızının belirlenmesi, levha önüne konan pitot tüpü yardımıyla ölçülmüştür. Pitot tüpü RDP marka bir basınç algılayısına bağlanmış, algılayıcının vermiş olduğu analog sinyaller RDP611 Güçlendiricide bir köprü-güçlendirici devresi kullanılarak 0-5 V aralığında şartlandırılmış ve Analog- Dijital çevirici kart vasıtasıyla bilgisayarda toplanarak analiz edilmiştir.

Elde edilen basınç değerlerinden (4-1) denklemi kullanılarak su hızına geçilmiştir.

$$V = \sqrt{2gh} \quad (4-1)$$

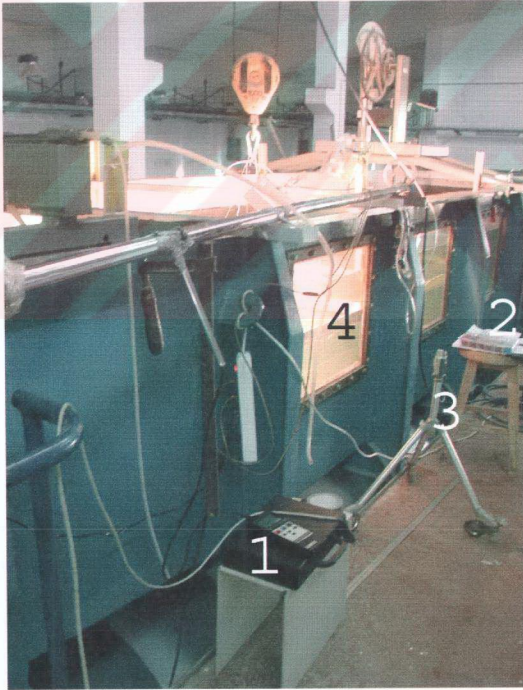
Burada g: Yerin çekim alanı, h ise basınç sonucunda suyun çıktığı yüksekliktir.

Farklı hızlarda sirkulasyon kanalındaki potansiyometre kalibrasyonu yapılmış böylece her hız için basınç ölçüp hız belirlemesinden kurtulunmuştur.

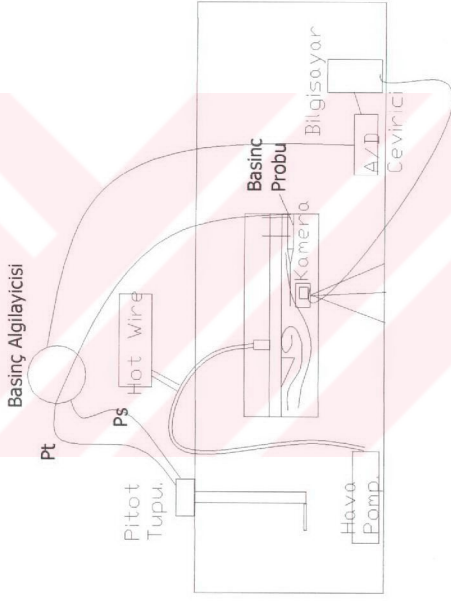


Şekil 4,3;Kanaldaki su hızının ölçümünde kullanılan pitot tüpü ve basınç algılayıcısı.

Deney görüntüleri kanalın penceresi önünde uygun bir yere sabitlenmiş tripod üzerinden kaydedilmiştir. EPSON 3.3 Megapiksellik dijital kamera kullanılarak 25'er saniyelik videolar ve fotoğraflar alınmış, daha sonra bu görüntüler bilgisayara aktarılmıştır. Boncuk akım görüntülemelerinde deney başına 10-15 boncukun yörüngesi izlenmiş, iyi görüntü veren boncukların yörüngeleri bilgisayar monitörüne konan asetat filme işaretlenerek çizilmiştir. Daha sonra bu yörüngeler ADOBE Photoshop 6.0 programında fotoğraf üzerinde tekrardan işlenerek analize hazır hale getirilmiştir. Aynı işlem iplik ile akım görüntülemesinde de uygulanmıştır. Sığıl arkasına hava verilen deneylerde hava verşi 700wattlık bir elektrik motoruyla sağlanmış hava veriş hızı, motora bağlanan dimerle ve boru hattında oluşturulan hava kaçışlarıyla ayarlanmıştır. Boru hattına yerleştirilen sıcak tel anomometresi yardımıyla verilen hava hızı kaydedilmiştir. (Şekil 4,4)



Şekil 4,4;Deney sistemi. 1-Hot Wire, 2- Boncuklar, 3-Kamera, 4-Pleksiglas Platform.



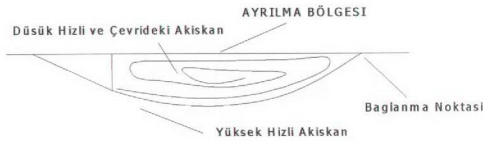
Şekil 4,5; Deney Setinin Şematik gösterimi

4.3 DENEY SONUÇLARI

Bir siğil arkasındaki akışı ve yapay hava kavitesinin doğasını detaylı bir şekilde incelemek için bu çalışma iki bölümden meydana getirilmiştir. Birinci aşamada siğil arkasına hava vermeden ayrılma bölgesindeki akışı incelemeye yönelik iplik ve boncuk deneyleri yapılmış ikinci aşamada ise ayrılma bölgesine hava girişi sağlanarak kavite boyu, yüksekliği, hava kaçış yerleri ve tipleri gibi konularda gözlemler yapılmıştır. Daha sonra havasız deneyler tekrarlanarak siğil arkasında toplam basınç ölçümü yapılmıştır.

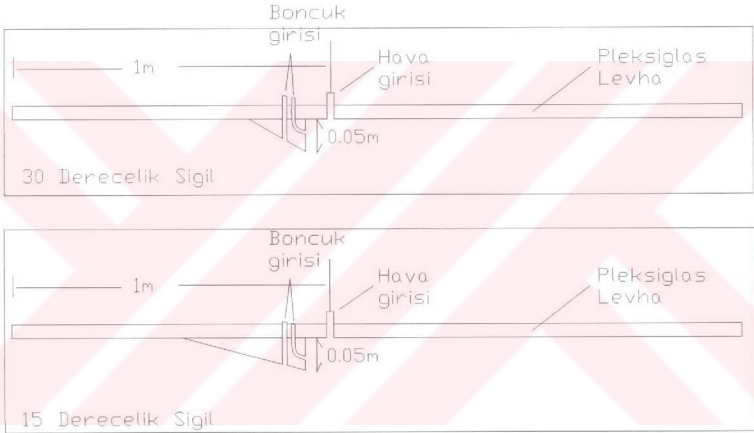
4.3.1 Siğiller Arkasındaki Akış (Havasız)

Deneyisel çalışmanın bu evresinde siğil arkasındaki akışın açılan deliklerden etkilenmemesi için hava ve basınç delikleri kapatılarak iki farklı geometriye sahip siğil arkasında 0.3,0.6,0.9 ve 1.2 m/s'lik akış hızlarında boncuk ve iplik akım görüntülemeleri yapılmıştır. Boncuklar Şekil 4,7'de görüldüğü gibi siğilin ön ve arkalarından hortum vasıtasıyla verilmiştir. Ön deliğin açılma sebebi, yeniden bağlanma çizgisinin görülmesi, boncukların ayrılma bölgesine girmeden akımı takip ederek bize bir fikir vermesidir. Ancak yapılan denemeler istenen sonucu vermemiş, sadece arka kısımdan yani ayrılma bölgesine verilen boncuklarla görüntülemeye devam edilmiştir. Görüntülemede kullanılan boncuklar, ortasında delik bulunan 3mm çapında plastik parçacıklardır. Ortadaki deliğe suyun girmesi durumunda su içerisinde hemen hemen denge durumunda kalmakta ancak çoğu zaman da yüzey gerilimi sonucu su girişinin olmaması nedeniyle yüzmeye başlamaktadır.



Şekil 4,6; Küt Cisim Arkasındaki Akış

Akım görüntülemeleri sonucunda literatürde ve numerik hesaplarda karşımıza çıkan Şekil 4,6; daki gibi bir olayı gözlemledik. Siğilin ön yüzünde açtığımız delikten boncuk verildiğinde boncuklar yüksek hızlı akışkan bölgesine girerek gözden kayboluyorlardı. Siğil arkasından verilen boncuklar ise ayrılma bölgesinde düşük hızlarda çevrilere kapılarak önce bağlanma noktasına doğru gitmekte daha sonra da her seferinde tam olarak aynı nokta olmasa da levhaya yakın bir noktadan geri dönmektedirler ancak büyük bir kısmı bir şekilde ayrılma bölgesinin dışına çıkmakta. Bu olgu da akımın kararsızlığından ve belki de seçilen boncuğun büyüklüğünden kaynaklanmaktadır.

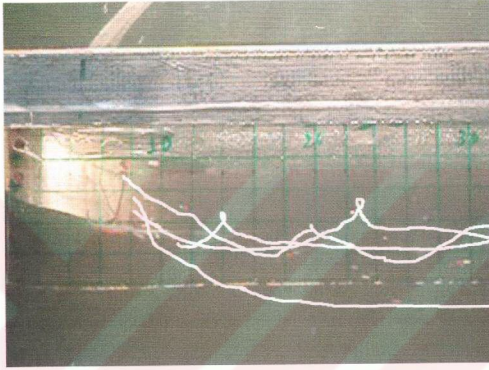


Şekil 4,7; Deneysel olarak incelenen geometriler.

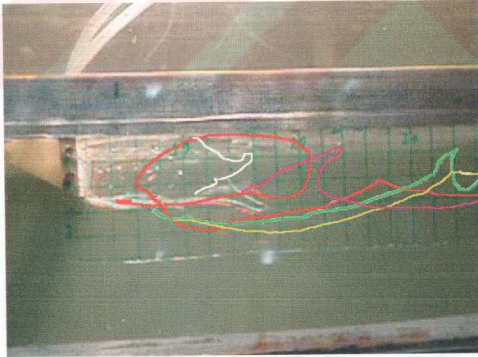
Akım hızının ayrılma bölgesindeki etkisinin incelenmesi için 30 derecelik siğilin 0.3,0.6 ve 0.9 hızlarındaki akım görüntüleme videoları bilgisayarda işlenmiştir. 0.3m/s'lik hızda bir iki tane çevri gözükürken (Şekil 4,4) hız arttıkça siğil arkasındaki çevri sayısında bir artış gözükmüş ve akış giderek karışık bir hal almaya başlamıştır. 1m/s'nin üzerinde kanalda meydana gelen hava kabarcığı artışı nedeniyle akım görüntülemesinin kalitesinin bozulmaya başladığı ve siğil arkasında kabarcıkların toplanarak sirkulasyon bölgesini havayla doldurduğu gözlemlenmiştir. Bu da istenmeyen ve düzeltemediğimiz bir deney hatası olarak karşımıza çıkmıştır.

Önlem olarak 15 derecelik siğilin deneylerinde levha köşesine bir tahliye deliği açılmış ancak pek de etkili olmamıştır.

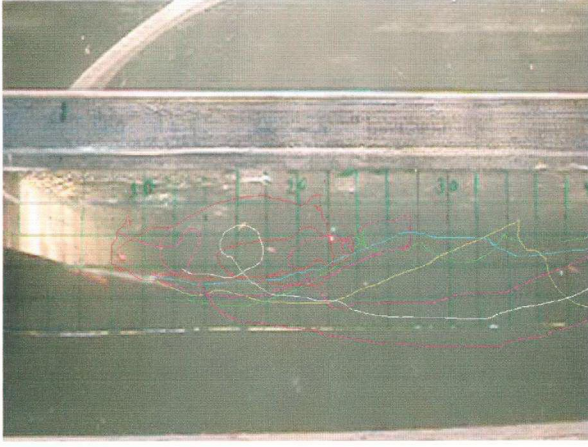
Siğil açılarının akıştaki etkisinin incelenmesi için 0.6 m/s'de 30 ve 15 derecelik siğiller arkasındaki akış karşılaştırılmıştır. 30 derecelik siğilde 15 dereceye göre çok daha fazla ve büyük çevriler gözlemlenmiştir. Açının artmasıyla siğil bir küt cisim gibi davranmakta dolayısıyla ayrışma bölgesindeki çevri sayısını artırmaktadır. (Şekil 4,5 ve 4,7). Benzer sonuçlarla iplik deneylerinde de karşılaşmaktayız. (Ek B)



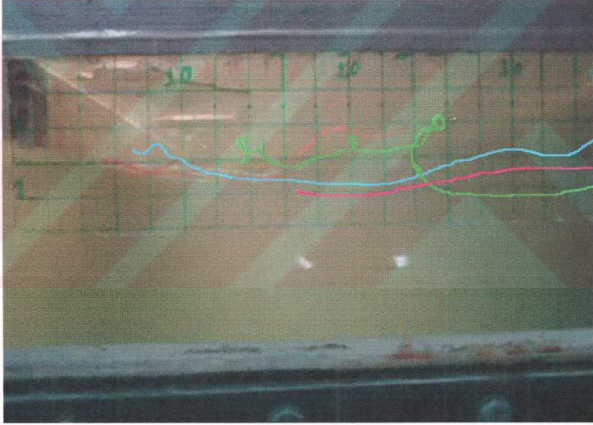
Şekil4,8; 30 derecelik Siğil- Akış Hızı 0,3m/s



Şekil4,9; 30 derecelik Siğil- Akış Hızı 0,6m/s

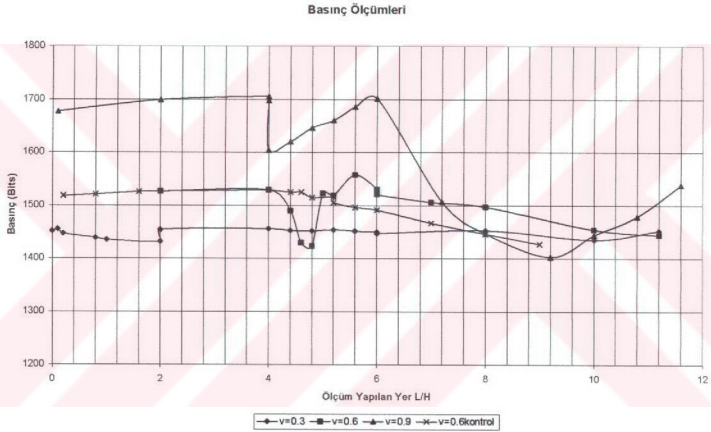


Şekil4,10; 30 derecelik Siğil- Akış Hızı 0,9m/s



Şekil4,11; 15 derecelik Siğil- Akış Hızı 0,6m/s

Yeniden bağlanma noktası etrafındaki hız vektörlerinin ani değişiklik göstermesi numerik hesaplarda görülmüştür. Bu değişimin o bölgedeki basınçta neden olacağı ani değişiklikler sayesinde yeniden bağlanma noktasının deneysel olarak belirlenmesi düşünülmüş ve Ek D’de fotoğrafları verilen düzenek kurularak siğil arkasındaki alan, prob belli bir yüksekliğe ayarlanarak taranmış, ani basınç farklılığının olduğu noktalar belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçlar Şekil 4.12’de verilmiştir. Ölçümler 15 derecelik siğil arkasında 0.3, 0.6 ve 0.9 m/s akım hızında basınç probunun levhadan açıklığı 5mm’de sabit tutularak yapılmıştır. Sonuç olarak beklenen ani basınç düşüşleri dolayısıyla yeniden bağlanma noktası tam olarak tespit edilememiştir.

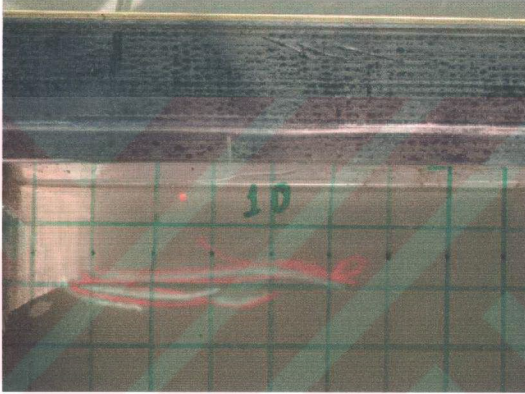


Şekil 4,12 ; 15 derecelik siğil arkasında üç farklı hızda yapılan basınç ölçümleri

4.3.2 Yapay Hava Kavitesindeki Akış:

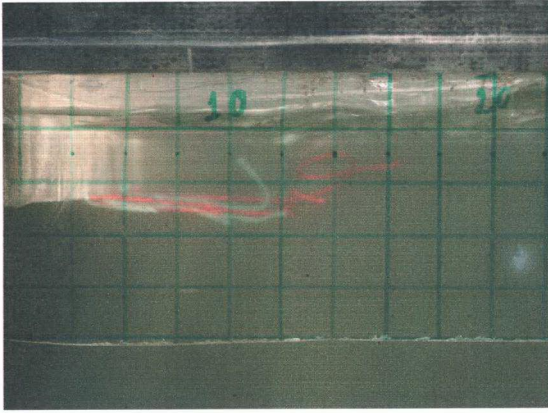
Deneyin bu evresinde amaçlanan, akış hızının ve hava verme hızının kavite oluşumuna etkisini araştırmaktır. İncelenen parametrelerin başında hava kavite boyu gelmektedir. Çünkü her ne kadar bu çalışmanın amacı dışında da kalsa minimum hava verişiyile kavite boyunun maksimum olduğu bir siğil tipi aramaktayız. Kavite boyu büyüdükçe sürtünme direncinin de buna paralel olarak düşeceği ortadadır. Bu nedenle bu deneylerde kavite boyları ölçülerek kaydedilmiştir. Bir diğer parametre olan kavite yüksekliği boyla birlikte kullanıldığında bize kesin olarak olmasa da

içerideki hava hacmiyle ilgili bir bilgi verecek ve dolayısıyla verilen hava debisinin bilinmesi nedeniyle hava kaçışının mertebesi konusunda bir fikir edinebileceğiz. Bu deney setine ait bilgiler tablo haline getirilerek sunulmuştur.(Tablo 4.1-4.2) Veriler analiz edildiğinde hava veriş hızının kavite boyuna fazla bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Hız artışıyla beraber kavite boyu düşmekte bunun yanında yükseklik artmaktadır. Bunun da içerideki hava miktarının korunmak istemesinden kaynaklandığı açıktır. Düşük hızlarda hava yanlardan kaçmakta ancak levhayla su arasında uzun bir hava filmi oluşmaktadır.

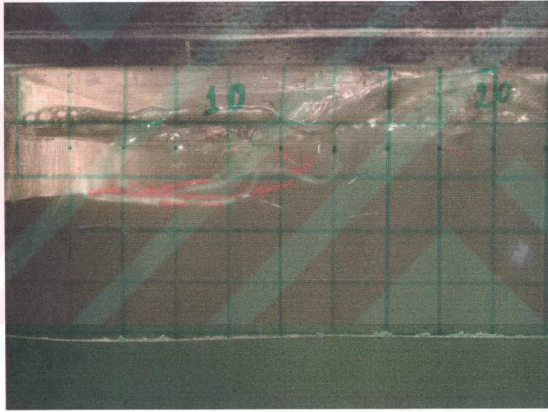


Şekil 4,13 ; Hava Kavitesinin 0,3 m/s'lik akıştaki hali,

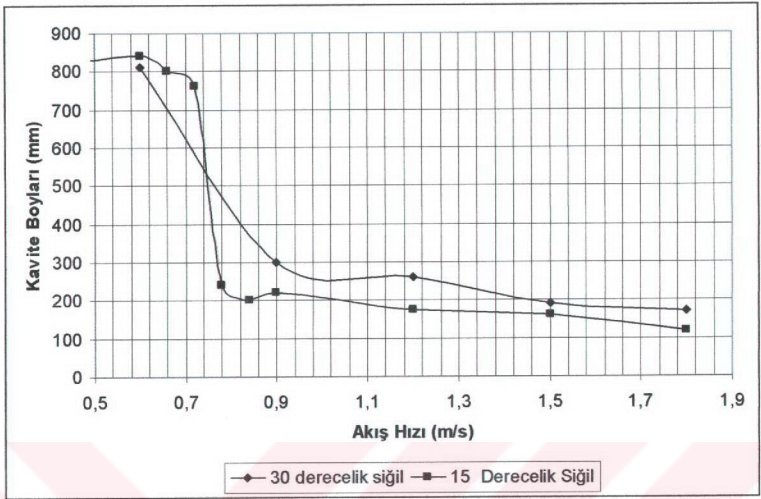
Su akış hızı 0.7 m/s 'de ilginç bir olayla karşılaşılmış hava kavitesi uzunluğu ani bir düşüş sergilemiştir(Şekil 4,8) Tam bu geçiş bölgesinde üstten akıma bakıldığında önce yer yer büyük kabarcıklar halinde, hızın az arttırılmasıyla da küçük ancak çok kabarcık kopmaya başlayarak kavite boyunu düşürmekte ve bir yandan da yüksekliği arttırmaktadır.



Şekil 4,14; 0,6m/s'de henüz düşmeyen kavite boyu (810mm)



Şekil 4,15; 0,9m/s'de 290mm'ye inen Kavite boyu



Şekil 4,16; Akış hızının kavite boyu üzerindeki etkisi.

Bu olay şu şekilde yorumlanabilir: Düşük hızda havasız deneylerden de tecrübe edindiğimiz gibi siğil arkasında tam bir ayrılma bölgesi oluşamamakta ve dolayısıyla verilen hava homojen olarak levha düzlemine yayılmak istemektedir. Bu istek de kavite boyunun büyük kalmasıyla sonuçlanmaktadır. Kritik hız gelindiğinde (Bizim hızımızda 0.7m/s) ise ayrılma bölgesi oluşumundan dolayı bağlanma çizgisiyle siğil arkasında kalan bölgede kinetik enerjisi düşük negatif basınçlı akışkan hareket etmekte ve bu bölgede diğer bölgelere göre daha düşük basınçlı bir bölge oluşturmaktadır. Verilen hava öncelikle bu bölgeyi doldurmakta, fazla hava ise minimum basınca sahip levha düzlemine yakın bir yerden bölgeyi kabarcık kopmaları halinde terk etmektedir.(EK C)

Tablo 4,1; 30 Derecelik Sığıl Deney Sonuçları

30 Derecelik Sığıl

	Potansiyometre Göstergesi i	Kanaldaki Akış Hızı(m/s)	Hava Veriş Hızı	Kavite Boyu	Yüksekliği	Hacim
1	50	0,6	0,9	770	15	5775
2	50	0,6	1,6	850	15	6375
3	50	0,6	2,2	810	15	6075
4	50	0,6	0,55	350	11	1925
5	100	1,2	0,7			
6	100	1,2	1,6	260	51	6630
7	100	1,2	2,2	260	53	6890
8	75	0,9	1,6	290	20	2900
9	75	0,9	2,2			
10	125	1,5	0,9	200	51	5100
11	125	1,5	1,6	190	52	4940
12	125	1,5	2,2	190	52	4940
13	150	1,8	2,2	170	52	4420
14	150	1,8	1,6	170	52	4420
15	75	0,9	0,9			

Tablo 4,2; 15 Derecelik Sığil Deney Sonuçları

15 Derecelik Sığil		Potansiyometre Göstergesi	Kanaldaki Akış Hızı(m/s)		Hava Veriş Hızı		Kavite Boyu		Yüksekliği	Hacmi
1	25		0,3		0,7		800		5	2000
2	25		0,3		1,6		800		7,5	3000
3	25		0,3		2,2		800		7	2800
4	50		0,6		2,3		840		12	5040
5	50		0,6		1,6		800		10	4000
6	75		0,9		4		220		20	2200
7	55		0,66		4,8		800		14	5600
8	60		0,72		6,3		760		15	5700
9	65		0,78		7,1		240		19	2280
10	70		0,84		7,8		200		22	2200
11	100		1,2		aynı		185		40	3700
12	125		1,5				160		50	4000
13	150		1,8				120		50	3000

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapay hava kavitesinin incelenmesi amacıyla güden bu çalışmada hem deneysel bir yaklaşım yardımıyla olayın doğası kavranmaya çalışılmış hem de bu konu üzerinde yapılacak parametrik çalışmalar için kullanılabilecek nümerik modelin uygunluğu test edilmiştir.

Yapay hava kavitesinde, kavite büyüklüğünü belirleyen parametrelerden biri olan bağlanma noktası nümerik modelleme sonucunda elde edilen grafiklerden bulunarak farklı hızların ve siğil açısının bu parametre üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Öncelikle siğil arkasına hava verilmediği durumda arkadaki akış incelenmiştir. Hızın ayrılma bölgesinin uzunluğu üzerindeki etkisine bakıldığında; hız artımıyla beraber bu uzunlukta da bir artış gözlenmektedir. Siğil açısının ayrılma bölgesi üzerindeki etkisini incelediğimizde 30 derecelik siğil tüm hızlarda en büyük ayrılma bölgesini vermekte ve 0,9m/s akım hızından sonra bu değer hemen hemen sabit kalmaktadır. Ayrılma bölgesi büyüklüğünü sırasıyla 37,5, 22,5 ve 45 derecelik siğiller takip etmektedir ve bu geometriye sahip siğiller için hızın artmasıyla ayrılma bölgesinde de bir artış gözlenmektedir. 15 derecelik siğilde ise farklı bir karakteristikle karşılaşılmış, hız artımıyla ayrılma bölgesi bir salınım yapmaktadır.

Akım hızının ayrılma bölgesindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi için 30 derecelik siğilin 0,3,0,6 ve 0,9 hızlarındaki akım görüntüleme videoları bilgisayarda işlenmiştir. 0,3m/s'lik hızda bir iki tane çevri gözlemlenirken hız arttıkça siğil arkasındaki çevri sayısında bir artış gözükmüş ve akış giderek karışık bir hal almaya başlamıştır. 1m/s'nin üzerinde kanalda meydana gelen hava kabarcığı artışı nedeniyle akım görüntülemesinin kalitesinin bozulmaya başladığı ve siğil arkasında kabarcıkların toplanarak sirkulasyon bölgesini havayla doldurduğu gözlemlenmiştir. Bu da istenmeyen ve düzeltilmediğimiz bir deney hatası olarak karşımıza çıkmıştır. Siğil açılarının akıştaki etkisinin incelenmesi için 0,6 m/s'de 30 ve 15 derecelik siğiller arkasındaki akış karşılaştırılmıştır. 30 derecelik siğilde 15 dereceye göre çok daha fazla ve büyük çevriler gözlemlenmiştir. Açının artmasıyla siğil bir küt cisim gibi davranmakta dolayısıyla ayrılma bölgesindeki çevri sayısını artırmaktadır.

Havalı kavite deneylerinde ilginç bir olguyla karşılaşılmış, kavite boyunun her zaman akış hızıyla doğru orantılı olmadığı görülmüştür. Bu deneyler, bize bu olay için bazı kritik değerlerin söz konusu olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak kavite oluşumundan sonra hava kaynağının kesilmesi aniden kavitenin kaybolmasına neden olmamış belli bir süre kavite hacmini korumuştur. Bu da sadece kavite oluşumu için hava verilen ve sonra da içerideki havayı geliştirilmiş bir geometri sayesinde koruyarak net kazancı arttırmaya yönelik bir çalışmanın olabilirliği konusunda bir fikir vermiştir. Numerik modeli doğrulamak için yapılması düşünülen kavite içinden basınç ölçümü pratik sorunlar nedeniyle gerçekleştirilememiş akım görüntüleme deneylerinden alınan değerlerle olay analiz edilmeye çalışılmıştır.

Deneyel ve numerik çalışmalardan aldığımız sonuçlar karşılaştırıldığında, özellikle havasız siğil arkasındaki akış konusunda iki yaklaşımın da benzer yanlarının olduğu görülmektedir. Bir örnek vermek gerekirse boncuk ve iplik akım görüntülemelerinde karşımıza çıkan hızın artmasıyla siğil arkasındaki akımın giderek karışması ve ayrılma bölgesinin genişlemesi gibi olgular numerik model sonucunda da bize benzer sonuçlar vermiştir. Boncuk akım görüntülemesinde bağlanma noktasının tayini için yapılan bir ölçümün birebir numerik ölçümle tutması bir tesadüf gibi gözükse de bize olayın eğilimi konusunda bir bilgi vermektedir.

Kurulan numerik modelde siğil arkasına hava girişi, 10mm'lik bir aralıkta tanımlanan hız girişi sınır koşuluyla sağlanmıştır. Alınan sonuçlarda da hız artışı artması siğil arkasındaki levhanın tamamının bir hava kütlesiyle kaplı olduğu görülmüştür. Oysa ki olaya deneysel olarak baktığımızda hava gaz karışımı karşımıza kabarcıklar olarak çıkmış bu da olayı kavite uzunluğu yönünden tam olarak karşılaştıramayacağımızı, onun yerine siğil arkasında belirlenen bir noktada hava gaz karışımlarının numerik ve deneysel olarak belirlenerek karşılaştırılmasını düşündürmüştür.

Bu çalışmada yapay hava kavitesinin doğasını anlamaya yönelik yapılmış olan deneysel ve numerik çalışmalar sonucunda ileride bu konuyu kavramada ve kavramın pratiğe uygulanması aşamasında önemli faydaları olacağı düşünülen bazı eklemelerin yapılması önerilmiştir. Bu eklemeler kısaca; hava su oranlarının numerik olarak belli bir süre için hesaplanması ve bu ölçümün üretilecek bir hava su probu aracılığıyla aynı periyot için deneysel olarak yapılması, siğil şekli ve siğil basamak yüksekliğinin kavite boyuna etkisinin incelenmesi için farklı geometrilerin

denenmesi, levha arkasındaki hava kaçışının minimize edilmesi amacıyla siğil arkasında bir başka siğil uygulamasının denenmesi ve pratikte gemi dibinin özellikle yüksek süratli teknelerde yatay olmayacağından üst duvarın eğimli olduğu bir modelin kurulması olarak özetlenebilir.

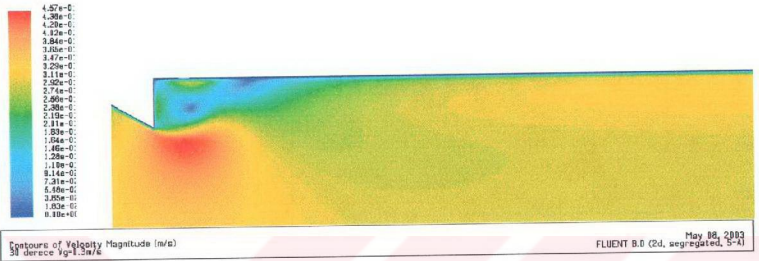


KAYNAKLAR

- Avcı, İ.**, Hidromekanik Ders Notları, İTÜ İnşaat Fakültesi, Hidrolik ABD, İstanbul
- Ashley, S.**, 2001. Warp drive underwater. Scientific American 284, 70-79
- Brennen, C.E.**, 1995. Cavitation and Bubble Dynamics. Oxford University Press, Oxford.
- Butuzov, A.A.**, 1967. Artificial Cavitation flow behind a slender wedge on the lower surface of a horizontal wall. Fluid Dynamics 3, 56-58
- Gökçay, S.**, 2001. Hava yağlamalı teknelerin araştırma ve geliştirmesi, Bitirme Çalışması, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Gökçay, S.**, Insel, M., Odabaşı, A.Y., 2003. Revisiting artificial air cavity concept for high speed craft., Submitted to Ocean Engineering in March 2003, ITU Naval Architecture Dept., İstanbul, Turkey
- Gu, Zhang.**, 1998. Prediction of turbulent recirculating flow field behind a v-Shaped Bluff Body using a nonlinear low reynolds number k-epsilon model., PhD Thesis, University of Alabama, USA
- Hatipoğlu, F.**, 2000. Kararlı bir akım ortamında tabana oturan silindir(ler) etrafındaki akım alanının nümerik ve deneysel modellenmesi, Doktora tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye
- Ibragmova T.B.**, 1995, "Basic Principles of propulsor Efficiency Comparisons", Fast'95, Hamburg
- Knapp, R.T., Daily, J.W., Hammit, F.G.**, 1970. Cavitation. Mc Graw-Hill, New York
- Matveev, K.I.**, 2002. On limiting parameters of artificial cavitation, Ocean Engineering, 30

- Savchenko, Y.N., 2001.** Supercavitation- Problems and Perspectives. In: Proceedings of the Fifth International Symposium on Cavitation, California institute of Technology, Pasadena, CA.
- Savitsky, D., Brown P.W., 1976,** Procedures for hydrodynamic evaluation of planning hulls in smooth and rough water, Marine Technology, Vol:13, No:4
- Tihon, J., Legrand, J., Legentilhomme, P. 2001.** Near wall investigation of backward facing step flows, Experiment in fluids,31, 484-493

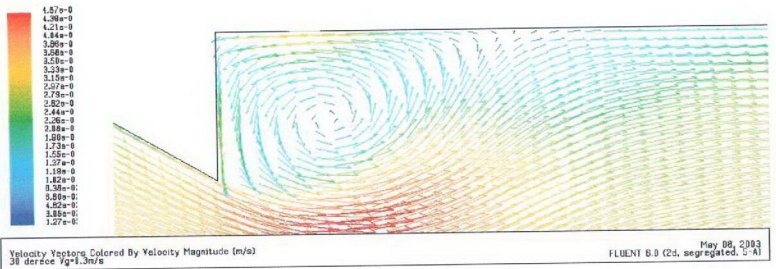
EK A SİĞİL ARKASINDAKİ AKIŞIN NUMERİK İNCELENMESİ



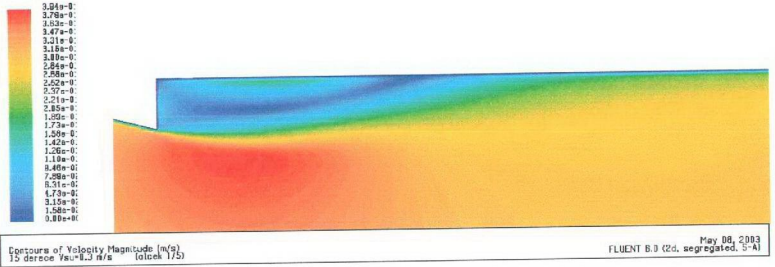
Şekil A1: 30 derecelik siğil, 0.3m/s akım hızı. Hız Dağılımları



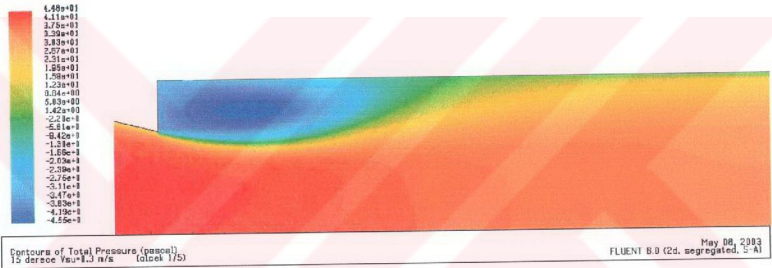
Şekil A2: 30 derecelik siğil, 0.3m/s akım hızı. Toplam Basınç Dağılımları



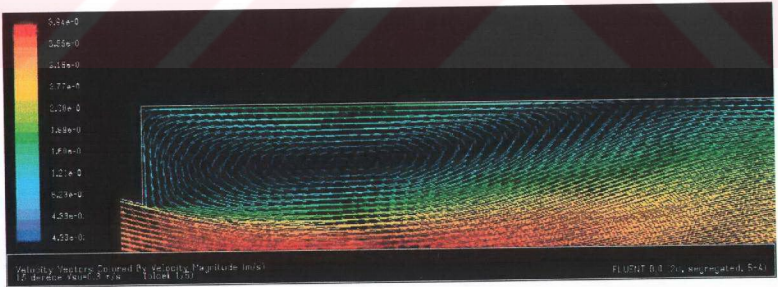
Şekil A3: 30 derecelik siğil, 0.3m/s akım hızı. Hız Vektörleri



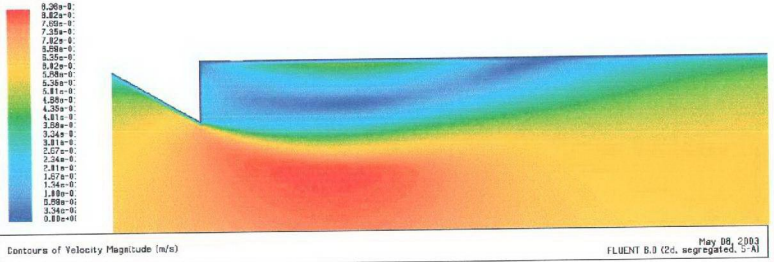
Şekil A4: 15 derecelik siğil, 0.3m/s akım hızı. Hız Dağılımları



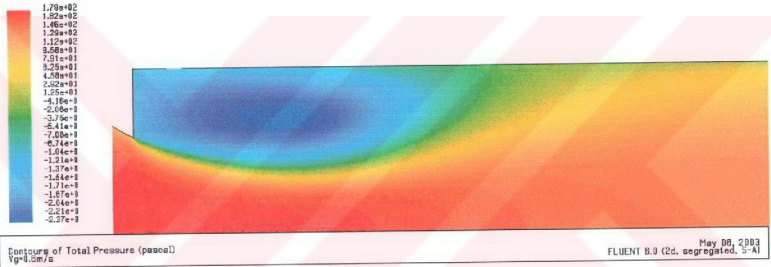
Şekil A5: 15 derecelik siğil, 0.3m/s akım hızı. Toplam Basınç Dağılımları



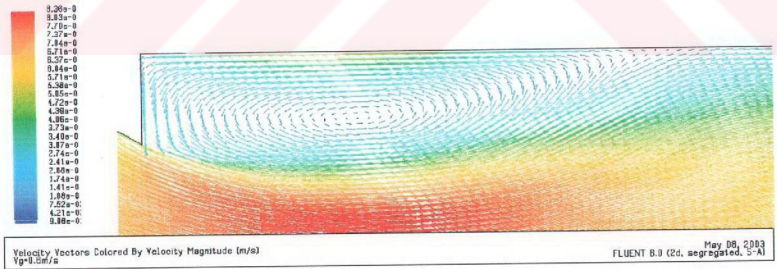
Şekil A6: 15 derecelik siğil, 0.3m/s akım hızı. Hız Vektörleri



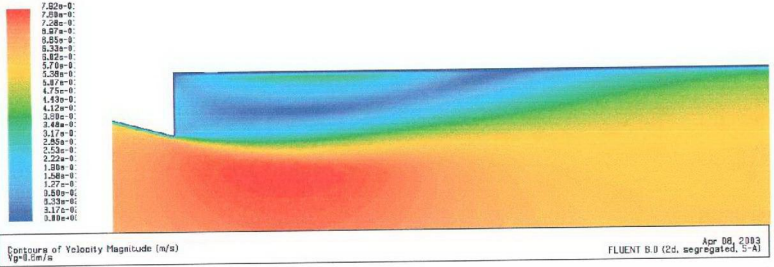
Şekil A7: 30 derecelik sığil, 0.6m/s akım hızı. Hız Dağılımları



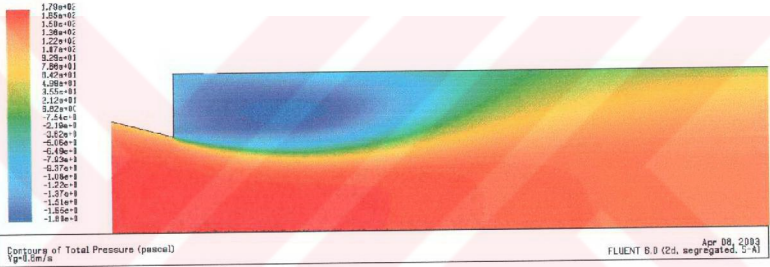
Şekil A8: 30 derecelik sığil, 0.6m/s akım hızı. Basınç Dağılımları



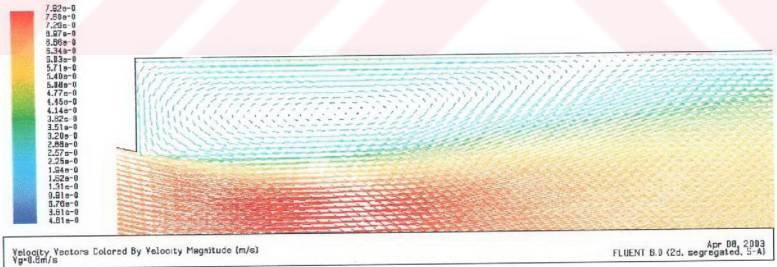
Şekil A9: 30 derecelik sığil, 0.6m/s akım hızı. Hız Dağılımları



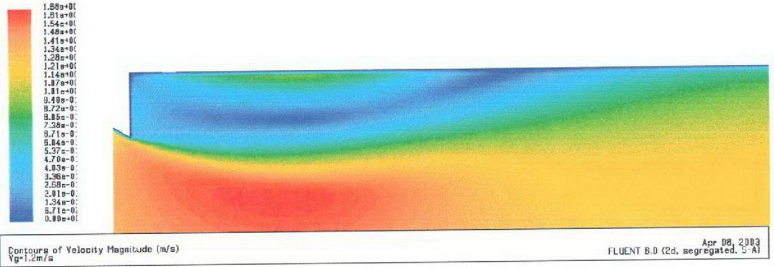
Şekil A10: 15 derecelik sığıl, 0.6m/s akım hızı. Hız Dağılımları



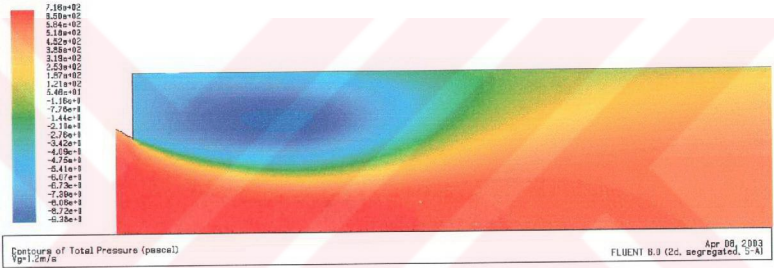
Şekil A11: 15 derecelik sığıl, 0.6m/s akım hızı. Basınç Dağılımları



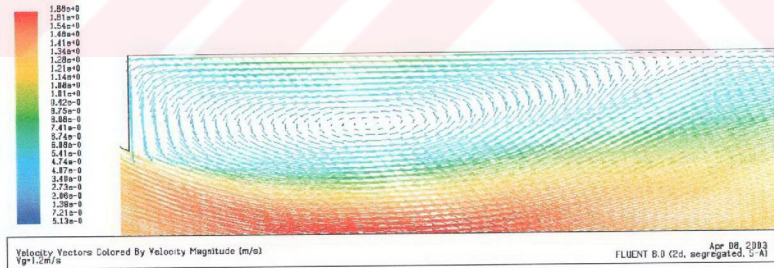
Şekil A12: 15 derecelik sığıl, 0.6m/s akım hızı. Hız Vektörleri



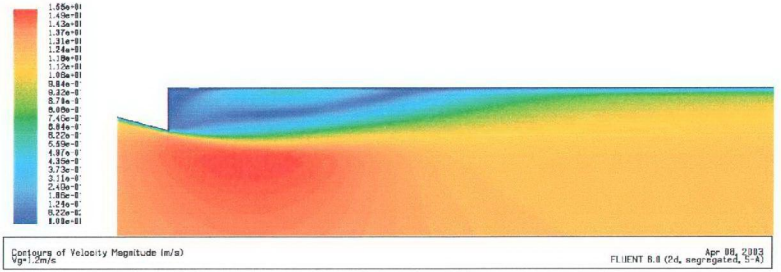
Şekil A13: 30 derecelik sığıl, 1.2 m/s akım hızı. Hız Dağılımları



Şekil A14: 30 derecelik sığıl, 1.2 m/s akım hızı. Basınç Dağılımları



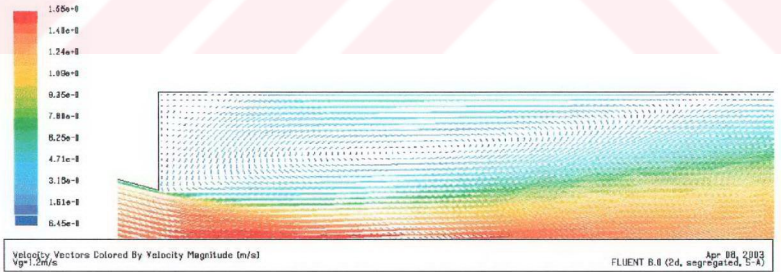
Şekil A15: 30 derecelik sığıl, 1,2 m/s akım hızı. Hız Vektörleri



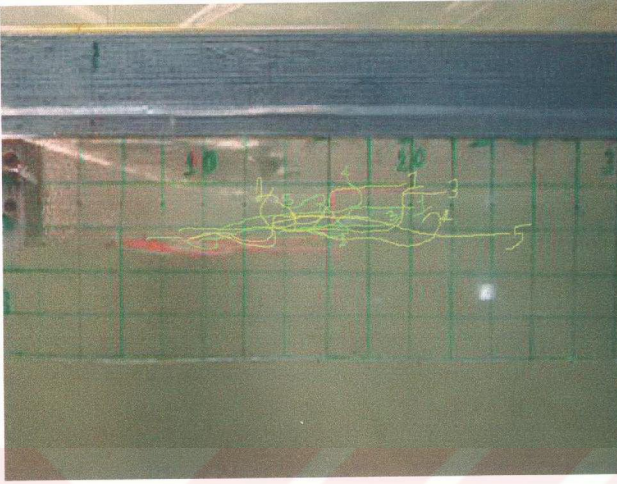
Şekil A16: 15 derecelik sığ, 1.2 m/s akım hızı. Hız Dağılımları



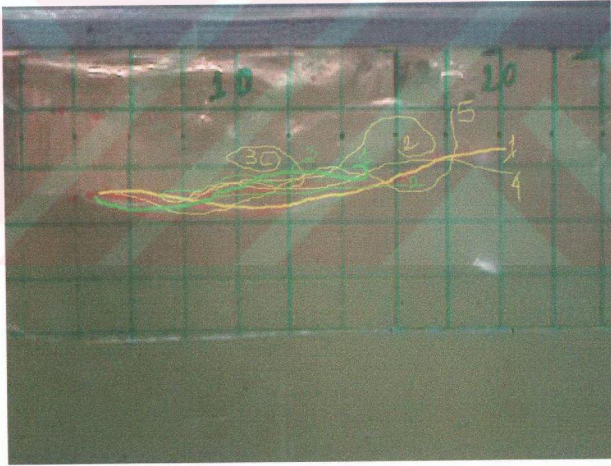
Şekil A17: 15 derecelik sığ, 1.2 m/s akım hızı. Toplam Basınç Dağılımları



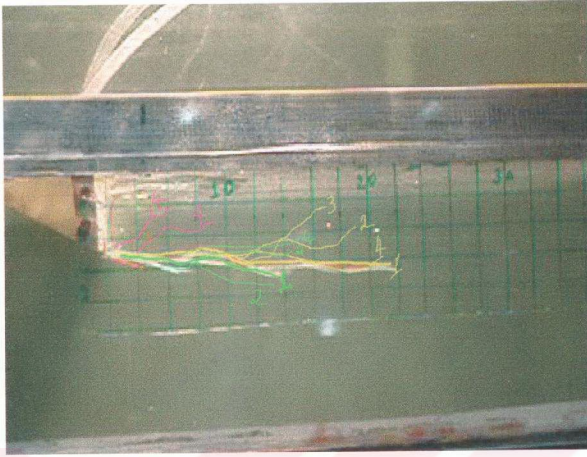
Şekil A18: 15 derecelik sığ, 1.2 m/s akım hızı. Hız Vektörleri



Fotoğraf B3;İplik deneyi: Akım hızı 0,9m/s . 15 derece



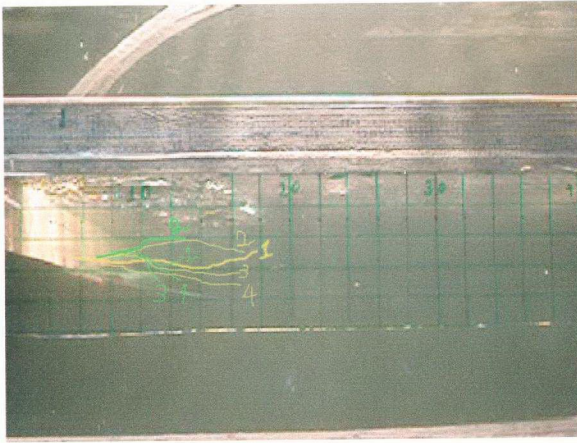
Fotoğraf B4;İplik deneyi: Akım hızı 1,2m/s..



Fotoğraf B5: İplik deneyi: Akım hızı 0,6m/s (30derece)



Fotoğraf B6; İplik deneyi: Akım hızı 1,2m/s (30derece)



Fotoğraf B7 İplik deneyi: Akım hızı 0,9m/s (30derece)

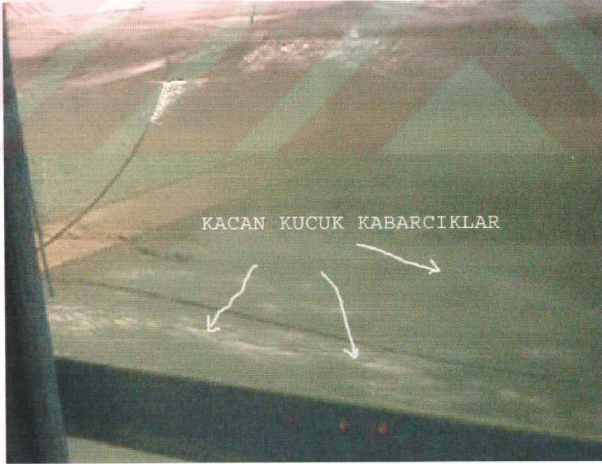


Fotoğraf B8 İplik deneyi: Akım hızı 0,3m/s (30derece)

EK C: YAPAY HAVA KAVİTESİ FOTOĞRAFLARI



Fotograf C.1- Su hızı 0,6m/s hava veriş hızı 2,2m/s hava yanlardan kaçıyor, maksimum kavite boyuna ulaşılmış durumda. (30 derecelik sigil)



Fotograf C.2- Su hızı 1,5m/s hava veriş hızı 2,2m/s hava arkadan küçük kabarcıklar halinde kaçmakta. (30 derecelik sigil)



Fotoğraf C.3- Su hızı 0,9m/s hava veriş hızı 2,2m/s hava arkadan büyük kabarcıklar halinde kaçmakta. (30 derecelik sigil)

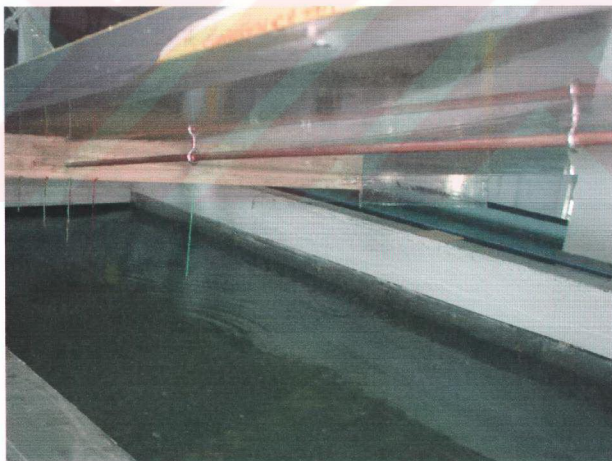


Kanal hızı 0,9m/s ve hava hızı 2,2m/s arka taraftan çok büyük kabarcıklar halinde kaçışlar var.

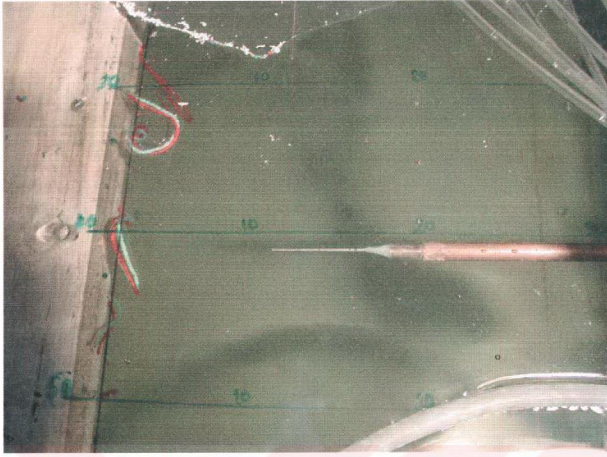
EK D: BASINÇ ÖLÇÜMÜ DÜZENLEĐİ FOTOĞRAFLARI



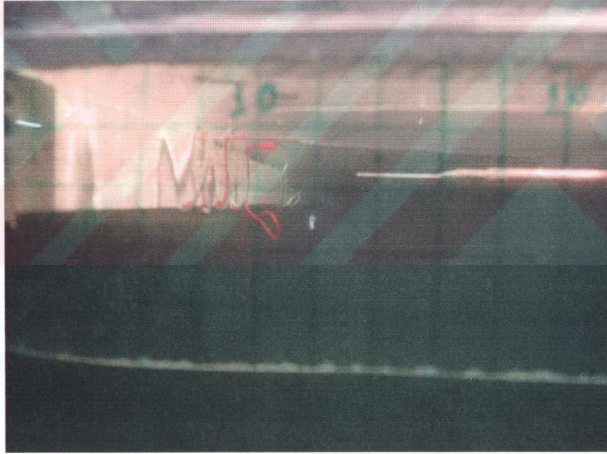
Fotoğraf D.1- Siğil arkasında basınç ölçümünde kullanılan basınç probu.



Fotoğraf D.2- Basınç Probusunun Levhaya montajı.



Fotoğraf D.3- Basınç Probunun üstten görünüşü.



Fotoğraf D.3- Basınç Probunun yandan görünüşü.

ÖZGEÇMİŞ

Serhan GÖKÇAY, Mayıs 1979 Ankara doğumlu olup 1997 yılında girdiği İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümünden 2001 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Gemi İnşaatı programında yüksek lisans eğitimine başlamış ve halen de devam etmektedir.

Kasım 2002'den itibaren Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.