

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ NÜKLEER ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**RADYOAKTİF İZLEME TEKNİĞİ İLE
SERBEST GİRDAP (VORTEKS) AKIŞ TAKİBİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM GENELİ
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Lis. İlyas YILMAZ
(304.97.1.011)**

104148

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Ocak 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 5 Şubat 2001**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. A. Beril TUĞRUL

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Hasbi YAVUZ

Yard.Doç.Dr. Nesrin ALTINSOY

21.02.2001

21.02.2001

21.02.2001

ŞUBAT 2001

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, radyoaktif izleme tekniği ile serbest girdap (vorteks) akış hareketi incelenmiştir. Bu amaçla radyoaktif izleme ve farklı akış görünürleştirme tekniklerinden yararlanılmıştır. Bu yüksek lisans tez çalışmasının konu ile ilgili çalışmalar açısından bir başlangıç teşkil etmesini ve daha ileri uygulamaların zeminini oluşturmasını umarım.

Bu yüksek lisans tez çalışması konusu, İ.T.U. Araştırma Fon Saymanlığı tarafından Lisansüstü Araştırma Projesi olarak kabul edilerek, desteklenmiştir.

Bu yüksek lisans çalışması boyuncaengin bilgi ve tecrübesini üzerimden hiç eksik etmeyen ve hem akademisyenliğe hem de hayata dair bana farklı ve zengin bakış açıları kazandıran çok değerli Sayın Hocam Prof.Dr.A. Beril TUĞRUL'a en içten duygularımla teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Bu çalışmada kullanılan radyoaktif izleyicinin elde edilmesine ilişkin ışınlamanın yapıldığı İ.T.U TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü İşletme Müdürü Sayın Prof.Dr. Hasbi YAVUZ'a ve ışınlamada bulunan Reaktör Personeline teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında varlıkları ile beni teşvik eden aileme de sonsuz teşekkür ederim.

Ocak 2001

İlyas YILMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. RADYOAKTİF İZLEME TEKNİĞİ VE UYGULAMALARI	5
2.1. İzleme Teknikleri Tanıtımı ve Sınıflandırması	5
2.2. Radyoaktif İzleme Tekniğı Tanıtımı ve Kullanım Alanları	6
2.3. Hidrolojik Problemlerin Çözümünde Radyoaktif İzleme Teknikleri	10
2.3.1. Akışkan Özellikleri Tayini	10
2.3.2. Akış Takibi	11
2.3.3. Akış Hızı Tayini	12
2.3.3.1. Pikten Pike Metodu	12
2.3.3.2. İzleyici Dengeleme Metodu	13
2.3.3.3. İzleyici Hızı Dengeleme Metodu	14
2.3.4. Analiz	15
2.3.5. Aşınma Tayini	15
2.3.6. İşlem Karakteristiklerinin Tayini	16
2.4. Radyoaktif İzleme Tekniğinin Akışın Görünürleştirilmesinde Kullanılması	17
2.4.1. Madde İlaveli Görünürleştirme Teknikleri	17
2.4.2. Optik Görünürleştirme Teknikleri	18
2.4.3. Birleşik Görünürleştirme Teknikleri	19
3. GİRDAP (VORTEKS) AKIŞI	19
3.1. Girdap (Vorteks) Akışı Tanıtımı	19
3.2. Girdap (Vorteks) Hareket Tipleri	21
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	27
4.1. Kullanılan Radyoaktif İzleyicinin Tanıtımı	27
4.2. Radyoaktif İzleyicinin Hazırlanması	31
4.2.1. Akış Hızı Tayini İçin Radyoaktif İzleyicinin Hazırlanması	31
4.2.2. Akış Görünürleştirilmesi İçin Radyoaktif İzleyicinin Hazırlanması	33

	<u>Sayfa No</u>
4.2.3. Akış Görünürleştirilmesi İçin Boya İzleyicinin Hazırlanması	34
4.3. Deneyde Kullanılan Cihazların Tanıtımı	35
4.3.1. Serbest Vorteks Hareket Akışının Yaratılması	35
4.3.2. Serbest Vorteks Hareket Akış Hızı Tayini İçin Kullanılan Cihazlar	36
4.3.2.1. Kullanılan Sintilasyon Dedektörü	36
4.3.2.2. Çok Kanallı Analizör	37
4.3.3. Serbest Vorteks Hareket Akış Görünürleştirilmesi İçin Kullanılan Cihazlar	38
4.4. Deney Düzeneklerinin Tanıtımı	40
4.4.1. Serbest Girdap(Vorteks) Hareketinin Oluşturulması Düzenek	40
4.4.2. Serbest Girdap(Vorteks) Hareketi AkışHızı Tayini İçin Kullanılan Düzenek	41
4.5. Deneyin Yapılışı	42
4.5.1. Radyoaktif İzleyici ile Yapılan Deneylerin Yapılışı	43
4.5.2. Serbest Girdap (Vorteks) Hareketi Akış Hızı Tayini Deneyinin Yapılışı	44
4.5.3. Serbest Girdap (Vorteks) Hareketi Akış Görünürleştirilmesi Deneyinin Yapılışı	45
4.5.4. Boya İzleyici İle Yapılan Deneylerin Yapılışı	46
5. DENEY SONUÇLARI	47
5.1. Akış Hızı Tayinine İlişkin Elde Edilen Deneysel Sonuçlar	47
5.2. Akış Hızı Görünürleştirilmesine İlişkin Elde Edilen Deneysel Sonuçlar	53
5.3. Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirmesi	55
5.3.1. Akış Hızı Tayinine İlişkin Ulaşılan Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	55
5.3.1.1. Akış Hızı Tayinine İlişkin Yapılan Teorik Hesaplama	55
5.3.1.2. Deneysel ve Teorik Akış Hızı Tayinine İlişkin Yapılan Çalışmaların Mukayesesi	58
5.3.2. Akış Hızı Görünürleştirilmesine İlişkin Sonuçların Değerlendirilmesi	61
5.3.2.1. Boya İzleyicisi İle Akış Görünürleştirilmesi Deney Sonuçları	61
5.3.2.2. Radyoaktif ve Boya İzleyici İle Akış Görünürleştirilmesi Deney Sonuçlarının Mukayesesi	62
7. SONUÇ VE TARTIŞMA	63
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	68

KISALTMALAR

İ.T.Ü	: İstanbul Teknik Üniversitesi
IAEA	: International Atomic Energy Agency (Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı)
NaI(Tl)	: Sodyum İyodür Talyum Sintilasyon Dedektörü



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1	Radyoaktif İzleyicilerin Endüstride Kullanıldığı Ana Uygulama Alanları	7
Tablo 2.2	Farklı Uygulamalarda Kullanılan İzotoplar ve Önerilen Kimyasal Bileşikler	9
Tablo 4.1	Kullanılan Na-24 Radyoizotopunun Özellikleri	28
Tablo 4.2	Sodyumun Yaptığı Bazı Bileşikler Ve Özellikleri	29
Tablo 4.3	Deneylerde Kullanılan Sodyum Karbonatın Özellikleri	30
Tablo 5.1	Radyoaktif İzleme Tekniği İle Ulaşılan Deney Sonuçları	50
Tablo 5.2	Radyoaktif İzleme Tekniği İle Ulaşılan Deneysel Akış Hızları	50
Tablo 5.3	Teorik Olarak Hesaplanan Akış Hızı Sonuçları	55
Tablo 5.4	Deneysel Olarak Ulaşılan Akış Hızları İle Teorik Olarak Hesaplanan Akış Hızı Sonuçlarının Mukayesesi	58



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1	Bazı Girdap (Vorteks) Akışları ve Bu Akışlardaki Akım Çizgileri (Douglas ve ark.,1995)	20
Şekil 3.2	İki Boyutlu Akışlarda Akım Çizgisi Örneği (Douglas ve ark.,1995) ..	21
Şekil 3.3	Cebri Girdap (Vorteks) Hareketi.(Douglas, 1986)	22
Şekil 3.4	Serbest Silindirik Girdap (Vorteks) Hareketi (Douglas, 1986)	24
Şekil 3.5	Serbest Spiral Girdap (Vorteks) Hareketi(Douglas, 1986)	25
Şekil 3.6	Bileşke Girdap (Vorteks) Hareketi (Douglas, 1986)	26
Şekil 4.1	Hassas Terazi Çalışması	32
Şekil 4.2	Işınlamaya Hazırlanmış Sodyum Karbonat Paketçigi	32
Şekil 4.3	Howitzer	33
Şekil 4.4	Kullanılan Boya İzleyici	34
Şekil 4.5	Kullanılan Manyetik Karıştırıcı	36
Şekil 4.6	Sayımlarda Kullanılan Kurşun Hücre ve NaI (Tl) Sintilasyon Dedektörü	37
Şekil 4.7	Sayımlarda Kullanılan Çok Kanallı Analizör	38
Şekil 4.8	Kullanılan Dijital Kamera	39
Şekil 4.9	Serbest Girdap (Vorteks) Hareketinin Oluşturulmasında Kullanılan Düzenek	40
Şekil 4.10	Serbest Girdap (Vorteks) Hareketine İlişkin Akış Hızı Tayininde Kullanılan Sayım Sisteminin Blok Şeması	41
Şekil 4.11	Serbest Girdap (Vorteks) Hareketine İlişkin Akış Hızı Tayininde Kullanılan Sayım Sisteminin Fotoğrafi	42
Şekil 4.12	Radyoaktif İzleyicinin Verilişi	43
Şekil 4.13	Örnekleme Yapılan Noktalar	44
Şekil 4.14	Serbest Girdap (Vorteks) Hareketine İlişkin Akış Görünürleştirme Deneyinin Yapılışı	45
Şekil 5.1	Yarıçapa Göre Deney Sonuçları	48
Şekil 5.2	Yükseklığe Göre Deney Sonuçları	49
Şekil 5.3	Deneyisel Olarak Tayin Edilen Yarıçapa Göre Akış Hızları	51
Şekil 5.4	Deneyisel Olarak Tayin Edilen Yüksekliğe Göre Akış Hızları	52
Şekil 5.5	Serbest Girdap (Vorteks) Hareketine İlişkin Radyoaktif İzleme Tekniği İle Otoradyografi Çerçevesinde Elde Edilen Bir Görüntü	53
Şekil 5.6	Serbest Girdap (Vorteks) Hareketine İlişkin Radyoaktif İzleme Tekniği İle Otoradyografi Çerçevesinde Elde Edilen Bir Görüntü	54

Şekil 5.7 Serbest Girdap (Vorteks) Hareketine İlişkin Radyoaktif İzleme Tekniği İle Otoradyografi Çerçevesinde Elde Edilen Bir Görüntü	54
Şekil 5.8 Teorik Olarak Tayin Edilen Yarıçapa Göre AkışHızları	56
Şekil 5.9 Teorik Olarak Tayin Edilen Yüksekliğe Göre AkışHızları	57
Şekil 5.10 Deneysel Olarak Ulaşılan ve Teorik Olarak Hesaplanan Yarıçapa Göre Akış Hızları	59
Şekil 5.11 Deneysel Olarak Ulaşılan ve Teorik Olarak Hesaplanan Yarıçapa Göre Akış Hızları	60
Şekil 5.12 Boya İzleyici İle Üstten Akış Görünürleştirme Sonucu Elde Edilen Görüntü	61



SEMBOL LİSTESİ

A	: Akışa katılan izleyici miktarı
α	: Akış çizgisi ile yarıçap arasındaki açı
C	: Vorteks sabiti
c	: İzleyici konsantrasyonu
d	: Serbest vorteksin başladığı noktanın yüzeye olan uzaklığı
F	: Kalibrasyon faktörü
g	: Yerçekimi ivmesi
H	: Enerjideki toplam değişim
N	: Toplam net sayım
L	: Plakta karakteristik uzunluk
p	: Basınç
Q	: Hacimsel debi
R	: Dedektörün sayım hızı
r	: Yarıçap
ρ	: Yoğunluk
S	: Akışın kesit alanı
T	: Zaman
u	: Dairesel hız
V	: Bileşke hız
v	: Radyal hız
w	: Açısal hız
z	: Zeminden itibaren yükseklik

RADYOAKTİF İZLEME TEKNİĞİ İLE SERBEST GİRDAP (VORTEKS) AKIŞ TAKİBİ

ÖZET

Radyoaktif İzleme Tekniklerinin endüstriyel amaçlı yaygın kullanım alanlarından biri “akış takibi” uygulamalarıdır. Akış takibi uygulamaları, farklı amaçlara yönelik olarak uygulanabilmektedir. Akış takibi ile araştırma amaçlı yörünge ve akım çizgilerinin belirlenmesine ilişkin çalışmalar yapılabildiği gibi, akış parametreleri tayinine ilişkin olarak da çalışmalar yapılabilmektedir.

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında radyoaktif izleme tekniği ile serbest girdap (vorteks) akış takibi bağlamında akış hızı tayini ve akış görünürleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, serbest girdap (vorteks) hareketi, akış takibinin geniş anlamlılığı çerçevesinde ele alınarak deneyler yapılmıştır.

Radyoaktif izleme tekniği ile deneysel olarak ulaşılan serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış hızı tayini İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü’nde mevcut TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma reaktöründe yaptırılan ışınlama sonucunda elde edilen Na-24’ün radyoaktif izleyici olarak kullanımı ile yapılabilmektedir. Deneysel olarak ulaşılan serbest girdap (vorteks) hareketi akış hızı değerleri beklenti doğrultusunda elde edilmiştir.

Radyoaktif izleme tekniği ile deneysel olarak ulaşılan serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış hızı değerlerinin sınanması amacıyla, serbest girdap (vorteks) hareketi için hesaplama yapılarak teorik hız değerleri bulunmuştur. Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin bulunan deneysel ve teorik hesaplama sonuçları, birbirleri ile mukayeseli incelendiğinde, bulunan değerlerin birbirleri ile ileri derecede uyumlu olduğu görülmüştür.

Akış hızı tayini dışında, otoradyografi felsefesi çerçevesinde akış görünürleştirilmesi çalışması da yapılmış ve görüntü elde edilebilmiştir. Böylelikle, radyoaktif izleyicinin ayrı bir kullanımının da serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin olarak uygulanabileceği gösterilmiş olmaktadır.

FLOW DISPERSION FOR FREE VORTEX MOTION BY USING RADIOTRACER TECHNIQUE

SUMMARY

Radiotracer techniques have been used for flow dispersion routinely for the industrial purposes. Applications of flow dispersion can be applied for the different aims. With the flow dispersion, it can be searched for either orbitary and streamline determination or determination of flow parameters.

In this MSc. Thesis, dispersion of free vortex motion observed in two different cases as determination of flow velocity and flow visualisation. Therefore, free vortex motion investigated in large scale.

Experimental flow velocity which is reaching by using radiotracer technique have been observed by Na-24 radiotracer that is irradiated in ITU TRIGA Mark-II Training and Research Reactor. Experimental flow velocities were expected values.

Examining of the experimental flow velocity values which are reaching by radiotracer technique, theoretic calculation have been done. When comparison of the experimental and theoretic flow velocities, it is recognised that they are appropriate each extremely.

Except of the determination of the flow velocity flow visualisation determination of flow velocity have been observed and taking the image of it. Therefore, it is evident that the radiotracer technique can be used for the purpose of visualisation.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Nükleer mühendislik uygulamaları, 20. yüzyılın ikinci yarısında önemli gelişmeler kaydetmiş bulunmaktadır. Nükleer mühendislik uygulamaları içinde özellikle nükleer teknikler, çeşitli araştırma ve geliştirme çalışmalarının yanısıra, farklı alanlarda hassas ve ileri bilgiler alınabilmesi için kullanılan önemli yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır (IAEA 1967). Nükleer teknikler; tahribatsız, işlemi aksatmayan ve ekonomik olmaları sebebiyle, kimi kez tek ve alternatifsiz çözüm olarak görülmektedirler (Gardner ve Ely 1967).

Nükleer teknik uygulamaları içinde önemli bir konuyu, radyoizotop uygulamaları ve onunla ilgili teknikler oluşturmaktadır. Yapay radyoizotop üretiminin hızla artmasıyla, bu teknikler başta tıp, endüstri, tarım ve arkeoloji olmak üzere geniş kullanım alanları bulmuşlardır. Radyoizotoplar genel olarak, “radyasyon kaynağı” ve “izleyici” olarak iki farklı şekilde kullanılabilmektedirler (Lawrence ve ark. 1952).

Radyoizotopların radyasyon kaynağı olarak kullanımı kendi içinde iki alt gruba ayrılabilir (Gardner ve Ely 1967, Földiák 1986). Birinci alt grupta yer alan metodlar; radyasyonun maddeden geçerken, saçılma, yutulma, frenlenme, vb. etkilerle şiddetinin azalması prensibine dayanmaktadır. Bu grupta; kalınlık, seviye, yoğunluk ve nem ölçümleri ile radyografi gibi uygulamalar sayılabilir. İkinci alt grupta yer alan metodlar olarak ise, radyasyonun malzeme iç yapısında, kimyasal ve biyolojik bazı değişiklikler meydana getirmesinden yararlanılarak geliştirilmiştir. Bu metodlarda, radyasyonun malzemeye nüfuziyeti önemli bir unsur olarak tercih nedeni olmaktadır.

Radyoizotopların izleyici olarak kullanıldığı metotlar, “radyoaktif izleme teknikleri” olarak adlandırılmaktadır. Bu teknikler, farklı amaçlar için kullanılabilen teknikler olup, sistemin bir bölümü veya bütünü hakkında bilgi edinmek amacıyla uygulanmaktadır. Bu sebeple sisteme, radyoaktif bir izleyici madde katılarak, sistemin davranışı gözlenmektedir (**Gardner ve Ely 1967**).

Radyoaktif izleyici katılma şekli itibariyle, radyoaktif izleyici uygulamaları, her ne kadar katı sınırlar ile ayrılmamış olsa da, iki alt grup olarak gruplanabilir. Bunlar; kimyasal etiketleme ve fiziksel etiketleme ile radyoaktif izleme uygulamalarıdır. “Kimyasal etiketleme”de, belirli bir elementin hareketi veya reaksiyonu takip edilir. Bu yolla sistemdeki kimyasal değişimler ile ilgili bir yargıya varmak mümkün olabilmektedir. Kullanılan radyoizotopun, takip edilen sistemin bileşenleri ile aynı kimyasal özelliklere sahip olması bir gerekliliktir. “Fiziksel etiketleme”de ise, radyoizotopun kimyasal özellikleri küçük bir öneme sahiptir. Asıl önemli olan, onun radyasyonunun dedekte edilebilirliği ve çalışılan ortam ya da nesne ile arasındaki ilişkisidir.

Radyoaktif izleme tekniklerinin, özellikle endüstrideki kullanım alanları, hayli farklı ve kullanımları da hayli yaygındır. Bunların başlıcaları; madde nakli, kaçak tayini, havalandırma, akış hızı tayini, karışım zamanı tayini ve aşınma ölçümleridir (**Beswick 1967**).

Bunun dışında tıp alanında teşhis amaçlı, tarım ve hayvancılıkta ürün verimini ve kalitesini arttırmak yönünde radyoaktif izleyici kullanımlarına sıkça rastlanılmaktadır. Arkeolojik çalışmalarda da, örneğin; yaş tayininde radyoaktif izleme teknikleri bağlamında teknikler sıkça kullanılmaktadır (**Tuğrul, 1985**).

Öte yandan, endüstrinin önemli bir hidrolojik problemi olan akış takibi için, izleme tekniklerinin kullanımı çoğu kez benimsenen yol olmaktadır. İzleme teknikleri kullanılarak yapılan akış takibi çalışmalarının tarihsel gelişimi ise, 1920'lere dayanır. Bu yıllarda G.I. Taylor tarafından yapılan çalışmalar, konunun temelini oluşturmuştur. **G.I. Taylor, (1921)**, önemli bir çalışmasında; bir nokta kaynaktan izleyicinin dağılımını istatistiksel olarak incelemiş ve durumu bir formülasyon ile ifade etmiştir.

Zaman içinde farklı akış rejimleri için farklı izleme teknikleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu süreç içerisinde nükleer tekniklerin, özellikle radyoaktif izleme tekniklerinin yaygınlığı giderek artmıştır. Günümüzde, hidrolojik problemlerin çözümünde radyoaktif izleme tekniği önemli bir yer tutmaktadır (**Gardner ve Ely,1967**).

Özellikle akış hızı ve debisinin tayini ve bu bağlamda akış modellemesi önem arzeden bir konudur. Çünkü hızın büyüklüğünü ölçmek, ona bağlı diğer parametrelere (erozyon oranı, ısı transferi vb.) ulaşmak anlamına gelir. Bu da, akış ile ilgili ileri bilgilerin elde edilmesi anlamına gelmektedir.

Akış takibi; atmosferik hareketlerin incelenmesi, deniz, nehir ve göllerin yıllık değişimlerinin takip edilmesi çalışmalarında, hem ticari ve hem de güvenlik boyutuyla karşımıza çıkmaktadır. Yine evrensel ölçekte olaya bakıldığında, karşımıza çıkan tablo benzerdir.

Görüldüğü üzere, hem sıvı, hem gaz akışkanların doğada ve evrende bulunma sıklıkları ve endüstrideki yoğun kullanımları göz önüne alındığında, onlara ait elde edilecek en doğru bilginin önemi tartışılmaz durumdadır. Hassasiyetle sonuca ulaşmak ana hedefler arasındadır. Bu açıdan bakıldığında, radyoaktif izleyicilerle çalışmanın gerekliliği, kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Çünkü radyoaktif izleme tekniği, atomik seviyede cevap fonksiyonu oluşturabilmektedir. Bu durum ise, sonuçların hassasiyetini arttıran bir olgu durumundadır.

Girdap hareketi veya vorteks (vortex), akışkan hareketleri içerisinde önemli yer tutan bir hareket tipidir. Dolayısıyla, diğer akışkan hareketlerindeki hız bilgisine ulaşmanın gerekliliği, girdap hareketi (vortex) için de geçerlidir. Vorteks kısaca, akış çizgilerinin birbirine paralel olmadığı iki boyutlu, potansiyel bir akış türü olarak tanımlanabilir (**Douglas,1986**).

Bu tez çalışmasında, hidrolojide sıkça rastlanan bir hareket türü olan girdap hareketi veya vorteksin bir alt grubunu oluşturan serbest girdaplı hareketin (free vortex) takibi amaçlanmıştır. Bu amaçla, laboratuvarında “uygun” bir deney düzeneği sistemi ile oluşturulan harekete, “uygun” bir radyoizotop katılarak sistemdeki hareketin araştırılması hedeflenmiştir.



BÖLÜM 2

RADYOAKTİF İZLEME TEKNIĞI VE UYGULAMALARI

2.1. İZLEME TEKNİKLERİ TANITIMI VE SINIFLANDIRMASI

İzleme tekniklerinde, saptanabilir ya da ölçülebilir elemanlardan oluşan izleyici popülasyonu, doğal veya yapay yollarla, işlem sırasında ana popülasyona dahil edilmektedir. Bu bağlamda, izleme tekniği; sisteme ilave edilen ve "izleyici" olarak adlandırılan maddenin davranışını gözlemleyerek, sistemin tamamı veya bir bölümü hakkında bilgi edinmek olmaktadır (Etherington, 1958).

Bir izleyici için, sağlanması gereken iki "temel" gereklilik bulunmaktadır (Gardner and Ely, 1967). Bunlardan ilki, izleyicinin izlenilen ortam ile uyum içinde hareket etmesidir. İkincisi ise, yine izleyicinin ortamdan kolayca ayrımlanabilmesini sağlayacak bir özelliğe sahip olmasıdır.

İlk bakışta bu durum bir çelişki gibi görünse de, farklı sistemler için uygun özelliklere sahip izleyicilere ulaşmak mümkündür. Bunun için izleyicilerin renk, kırılma indisi, iletkenlik gibi ayırdedici fiziksel ve kimyasal özelliklerinden yararlanılabilmektedir.

İzleyicinin sağlanması gereken bu iki ana gerekliliğin yanında, izleyicilerin ayrıca sağlanması istenen ikincil özellikler de vardır. Bunlar, "tali özellikler" olarak adlandırılmaktadır. Bu tali özellikler arasında, kolay temin edilebilme, ekonomiklik, çevreye az hasar verme sayılabilir.

İzleme tekniklerinde sınıflandırma; malzemeye, yöntemin dayandığı fiziksel esasa, ya da buna bağlı olarak kullanılan teknik donanıma göre değişse de, izleyici esas alınarak yapılan sınıflandırma en sık kullanılan olmaktadır (Tuğrul, 1991). Buna göre izleme tekniklerini aşağıdaki şekilde 3 gruba ayırmak mümkündür:

1. Optik - Görsel Esaslı İzleme Teknikleri
2. İşitsel Esaslı İzleme Teknikleri
3. Radyoaktif İzleme Teknikleri
4. Diğer İzleme Teknikleri

2.2. RADYOAKTİF İZLEME TEKNIĞİ TANITIMI VE KULLANIM ALANLARI

İzleyici olarak radyoaktif izotoplar kullanıldığında, izleme tekniği "Radyoaktif İzleme Tekniği" adını almaktadır. Nükleer teknolojinin hızla gelişmesiyle, radyoizotop üretimi ve kullanım alanları da önemli ölçüde artış göstermiştir. Esas itibarıyla bu artış, radyoizotop kullanımının avantajları ile yakından ilgilidir. Dolayısıyla, tekniğin avantajları ile radyoizotop kullanımının avantajları önemli ölçüde örtüşmüş durumdadır.

Radyoaktif izleyiciler, endüstri, tıp, tarım ve hayvancılık ve arkeometride başarı ile uygulanmaktadır. Her bir alanda da uygulamalar farklı olabilmektedir. Tıpta teşhis veya tedavi amaçlı, tarım ve hayvancılıkta araştırma ve canlı sağlığı amaçlı, arkeometride ise, yaş tayini, yerleşim dağılımı tespiti ve akış takibi amaçlı olabilmektedir.

Radyoaktif izleyici tekniğinin endüstrideki kullanım alanları ise hayli çeşitlidir (IAEA, 1990). Radyoaktif izleyicilerin endüstride kullanımına ait bilgiler Tablo 2.1'de verilmektedir (Földi, 1986)

Tablo 2.1.**Radyoaktif İzleyicilerin Endüstride Kullanıldığı Ana Uygulama Alanları**

Uygulama Alanları	Uygulama Türleri
Madencilik	Malzemelerin ve onların hareketlerinin tanımlanması Kaçak ve çatlakların bulunması Akış oranlarının tayini Endüstriyel işlemlerdeki madde taşınımları Aşınma çalışmaları Karışımların homojenlik çalışmaları Kütle miktarının tayini
Gıda Endüstrisi, Tarım, Ormancılık ve Balıkçılık	Malzemelerin ve onların hareketlerinin tanımlanması Kaçak ve çatlakların bulunması Akış oranlarının tayini Endüstriyel işlemlerdeki madde taşınımları Kütle miktarının tayini Karışımların homojenlik çalışmaları
Yapı, Metalik olmayan mineral ürünler	Malzemelerin ve onların hareketlerinin tanımlanması Kaçak ve çatlakların bulunması Akış oranlarının tayini Endüstriyel işlemlerdeki madde taşınımları Karışımların homojenlik çalışmaları Aşınma çalışmaları
Makinalar, Taşıma ekipmanları	Malzemelerin ve malzeme hareketlerinin tanımlanması Kaçak ve çatlakların bulunması Akış oranlarının tayini Aşınma çalışmaları Karışımların homojenlik çalışmaları Kütle miktarının tayini
Metalurji, Döküm, Metal ürünler	Malzemelerin ve malzeme hareketlerinin tanımlanması Akış oranlarının tayini Endüstriyel işlemlerdeki madde taşınımları Aşınma çalışmaları Karışımların homojenlik çalışmaları Kütle miktarının tayini
Hafif sanayi (tekstil, ağaç, kağıt basımı)	Malzemelerin ve malzeme hareketlerinin tanımlanması Akış oranlarının tayini Endüstriyel işlemlerdeki madde taşınımları Aşınma çalışmaları Karışımların homojenlik çalışmaları Kütle miktarının tayini
Kimyasal ürünler (lastik, petrol)	Malzemelerin ve malzeme hareketlerinin tanımlanması Kaçak ve çatlakların bulunması Akış oranlarının tayini Endüstriyel işlemlerdeki madde taşınımları Aşınma çalışmaları Karışımların homojenlik çalışmaları Kütle miktarının tayini
Su kaynakları kullanımı	Malzemelerin ve malzeme hareketlerinin tanımlanması Kaçak ve çatlakların bulunması Akış oranlarının tayini Aşınma çalışmaları Karışımların homojenlik çalışmaları Kütle miktarının tayini
Çalışma güvenliği	Karışımların homojenlik çalışmaları Kütle miktarının tayini

İzleyici olarak radyoizotopların kullanımı, bazı avantaj ve dezavantajlar getirmektedir (**Kara ve Tuğrul, 1989**). Ancak, genel envanter olarak değerlendirildiğinde avantajlar, dezavantajlara ağır basmaktadır. Bu da radyoaktif izleyici tekniklerinin kullanımını tercih edilir hale getirmektedir.

Radyoaktif izleyici kullanımının avantajlarını şu şekilde sıralamak olasıdır.

- Bulunduğu ortamın kimyasal ve fiziksel özelliklerini bozmamaktadırlar
- İzleyicinin renk, reaktivite indeksi, iletkenlik, yoğunluk gibi özelliklerinden bağımsızdırlar,
- Ortamda bulunan radyoaktif izleyiciler dışındaki diğer maddelerden etkilenmemektedirler,
- Atomik seviyede maddeyi izleme imkanı vermektedirler,
- Üretim şartlarında, işlemler devam ederken de sürekli olarak uygulanabilmektedirler.

Bu avantajların yanında, izleyici olarak radyoizotop kullanımının dezavantajları da mevcuttur. Bunlar;

- Uygulama ve kullanımının uzmanlık istemesi,
- Sağlık fiziki açısından oluşturabileceği sorunlar,
- Ekonomi

olarak sayılabilir.

Çalışılacak radyoaktif izleyicinin belirlenmesi aşamasında, radyoizotopun yarı ömrü, radyasyonunun tipi ve enerjisi önemlidir (**Evans ve Muramatsu, 1977**). Yine radyoaktif izleyicilerle çalışılırken bilinmesi gereken bir takım hususlar mevcuttur. Bunlar, radyoaktif izleyici safsızlığı, radyoizotop değişimi, radyasyon etkisi, radyokolloid etkisi, izotop etkisidir.

Değişik maddelerin etiketlenmesinde kullanılan radyoizotoplar ve kimyasal kompozisyonları Tablo 2.2’de verilmiştir (**Földi,1986**)..

Tablo 2.2.

Farklı Uygulamalarda Kullanılan İzotoplar ve Önerilen Kimyasal Bileşikler

İzotop	Etiketleme İçin Önerilen Kimyasal Bileşik			
	Gaz	Solüsyon	Katı İnorganik	Organik
H-3	Gaz	3 H ₂ O	--	Değişik organik bileşikler
C-14	CO ₂	--	--	Değişik organik bileşikler
Na-24	--	Suda çözünebilen tuz	Na ₂ CO ₃	Naphthenate, Salicylate
S-35	H ₂ S	--	--	Değişik organik bileşikler
Cl-38	--	--	--	Chlorobenzene
Ar-41	Gas	--	--	--
Sc-46	--	Suda çözünebilen tuz	Sc ₂ O ₃	--
Cr-51	--	--	Quartza emdirilmiş	--
Fe-59	--	--	Metal	Dicyclopentadienyliron
Co-60	--	--	Metal	Naphthenate
Cu-64	--	Suda çözünebilen tuz	CuO	Naphthenate
Zn-65	--	--	ZnO	--
Ni-65	--	--	--	Stearate, oxalate
As-67	AsH ₃	--	--	--
Ge-77	--	--	--	Değişik organik bileşikler
Br-82	CH ₃ Br	Suda çözünebilen tuz	CaBr ₂	Bromobenzene
Kr-85	Gas	--	--	--
Rb-86	--	Suda çözünebilen tuz	--	--
Ag-110	--	--	Partiküllere Emdirilmiş	--
Sb-124	--	--	Metal	Triphenylstibine
I-131	--	Suda çözünebilen tuz	--	Iodokerosene, İodobenzene
Xe-133	Gas	--	--	--
La-140	--	--	La ₂ O ₃	--
Ce-144	--	--	Ce ₂ O ₃	--
Ta-182	--	--	Ta ₂ O ₃	--
Au-198	--	--	AuCl ₃	Cyanid solüsyonu

2.3. HİDROLOJİK PROBLEMLERİN ÇÖZÜMÜNDE RADYOAKTİF İZLEME TEKNİKLERİ

Hidrolojik işlemlerde kullanılan çok sayıda radyoaktif izleyici uygulaması mevcuttur. Bunlar kendini kanıtlamış tekniklerdir ve birçok spesifik probleme yalnızca küçük değişikliklerle uygulanabilmektedirler (Gardner ve Ely,1967)

Mevcut uygulamaları tarihsel gelişimleri çerçevesinde akışkan akışının dört genel alanı içinde sınıflandırmak mümkündür. Bunlar;

- Akışkan özellikleri,
- Analiz,
- Aşınma ve korozyon,
- İşlem karakteristikleri,

olarak sıralanabilir.

2.3.1. Akışkan Özellikleri Tayini

Radyoaktif izleyicilerle yapılan akışkan özellikleri tayini uygulamalarından biri, boru hatlarında taşınan iki farklı ham petrolün arayüzeylerinin belirlenmesi çalışmalarıdır. Farklı ham petrolerin uzun mesafeler boyunca aynı boru hatları aracılığı ile pompalanması ve sonra varış noktasında ayrılmanması, sıkça gerçekleştirilen bir işlemdir. Fakat, son aşaması oldukça güçtür. Burada radyoaktif izleyiciler devreye girer. Ham petrolerin pompalanma noktasındaki arayüzeyine "ani" olarak enjekte edilen radyoaktif izleyici sayesinde, tüm hat boyunca kolay ve kesin bir arayüz tayini yapılabilmektedir. Bu çalışmada kullanılabilen radyoizotoplar, ^{82}Br , ^{124}Sb , ^{60}Co gibi hem ham petrolde çözünebilen hem de yüksek enerjili gamma ışıınımı yapabilen radyoizotoplardır. Böylece, borunun dış çeperine monte edilen dedektörler ile arayüzey tayini kolayca yapılabilmektedirler (Gardner ve Ely,1967).

Bir diğerk uygulamayı kaçak tayini oluşturmaktadır. Burada radyoaktif izleyici, boruyu takip eden akışkanın içine ani olarak enjekte edilmektedir. Eğer bir sızıntı varsa, bir miktar radyoaktif izleyici borudan ayrılıp, dış çepere veya toprağa karışacaktır. Sonraki işlem bir dedektör yardımıyla kaçanın varlığını ve yerini tayin etmektir (**Gardner ve Ely,1967**).

2.3.2. Akış Takibi

Radyoaktif izleme tekniği, akış takibi incelemelerinde başarı ile uygulanabilmektedir. Çeşitli akış parametreleri tayin edilebilmektedir (**Altınsoy ve Tuğrul, 2000**). Hidroloji uygulamaları, radyoaktif izleme tekniğinin bir alt ihtisas kolunu oluşturmaktadır (**IAEA, 1983**).

Bu uygulamalar, okyanus akışı takibinden, saf metal külçelerinin üretimindeki metalurjik akış takibinin belirlenmesine kadar geniş bir aralığa yayılmış durumdadır. Okyanus akış takipleri, hayli karmaşık yapı sergilerler. Özellikle atık deşarjının takip edeceği yolu tahmin etmek oldukça güç bir iştir. Plansız deşarjlar, kıyıların kirlenmesi sorununu gündeme getirebilmektedir. ⁴⁶Sc, ³²P, ²⁴Na, ⁸²Br radyoizotopları, bu tarz bir deşarj izleme çalışmasında başarı ile kullanılabilmektedirler. Deşarj olduğu veya olacağı bölgeye kısa süreli enjeksiyonla verilen radyoizotopların hareketleri, suyun içinde asılı duran su geçirmez dedektörler aracılığıyla "in situ" şartlar altında sayılabilmektedir (**Gardner ve Ely, 1967**).

Ticari nemi de gözönüne alındığında radyoaktif izleme tekniğinin en çok uygulandığı alanlardan biri, akış hızı ölçümleri olarak görülmektedir (**IAEA, 1990**). Hassas sonuçlara ulaşılması ve boru takibinin güç olduğu şartlarda kolay uygulanabilirliği, akış hızı tayininde radyoaktif izleyiciler için önemli bir avantaj olarak gösterilmektedir. Tekniğin laminar akış bölgesinde hassasiyetinin, türbülanslı akış bölgesindekinden daha az olması, radyoaktif izleyici uygulamasının önemini azaltan bir etken değildir. Zira, endüstrideki akışların büyük kısmı türbülanslı akış bölgesinde yer almaktadır (**IAEA, 1990**).

2.3.3. Akış Hızı Tayini

Radyoaktif izleyici uygulaması ile farklı şekillerde akış hızı tayini yapılabilir. Bunların hangisinin uygulanabileceği ise akışın özelliklerine ve ölçümleme durumuna göre belirlenir. Radyoaktif izleyici kullanılarak gerçekleştirilen başlıca üç akış hızı ölçüm tekniği söz konusudur (IAEA, 1975).

Bunlar;

- Pikten pike metodu
- İzleyici dengeleme metodu
- İzleyici hızı dengeleme metodu

olmaktadır.

2.3.3.1. Pikten Pike Metodu

"Pikten pike metodu"nda; izleyici, akışa çok kısa sürede enjekte edilmektedir. Radyoaktif izleyicinin akışa yeterli mertebede intibakının sağlanabileceği mesafeden sonra, borunun dışında iki ölçüm noktasına yerleştirilen dedektörler ile ölçüm alınmaktadır (IAEA, 1975).

Detektörlerin maksimum sayımları verdiği zaman tespit edilmekte ve bu maksimumlar arasındaki zaman aralığı saptanmaktadır. Bu değerlerden yola çıkarak, ortalama akış hızına ulaşılmaktadır. Ancak bu ölçüm metodu, hacimsel akış hızını doğrudan vermemekte ve bunun için de boru kesitinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu durumda akış debisi Q , v akış hızı ve S de akış kesit alanı olmak üzere " $Q = v.S$ " olarak bulunabilir.

Bu akış hızı tayini metodu, akış hacminin iyi bilindiği ve sabit olduğu kapalı devre akışlarına uygundur. Hassas sonuç elde etmek için ilk detektör yeri ve dedektörler arası mesafe iyi ayarlanmalıdır. Brom-82 ve Sodyum-24 bu işlem için uygun radyoaktif izleyicilerdir (Gardner ve Ely, 1967).

2.3.3.2. İzleyici Dengeleme Metodu

"İzleyici dengeleme metodun"nda, akış kesitinin bilinmesinin gerekliliği yoktur. Açık kanallara, tamamıyla dolmamış boru akışına veya tortulu akışlara uygulanabilmektedir. Bu akış hızı tayini metodu esas itibariyle, izleyicinin korunumu prensibine dayanmaktadır. Burada, belirli miktarda izleyici akışa katılmaktadır.

Karışımın sağlandığı noktadan örnekler alınmakta ve bu örneklerin sayım hızları kullanılarak hacimsel akış hızına ulaşılmaktadır. Matematiksel olarak;

$$A = Q \int_0^t c dt \quad (2.1)$$

A : Akışa katılan izleyici miktarı

Q : Hacimsel akış hızı

c : İzleyici konsantrasyonu

olmak üzere yazılabilmektedir (IAEA, 1975).

Hassas ölçümler yapmak için hacimsel akış hızı ölçüm boyunca sabit olmalı ve izleyici konsantrasyonu akışın her noktasında aynı olmalıdır. Görüldüğü gibi hacimsel akış hızına ulaşmak için izleyici konsantrasyonu integralinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için denk. 2.2 den yararlanılmaktadır (IAEA, 1975).

$$R = F c \quad (2.2)$$

Burada;

R : Detektörün sayım hızı (net sayım sayısı)

F : Kalibrasyon faktörü

temsil etmektedir.

Denklem 2.2. Denklem 2.1 de yerine konulup hacimsel akış hızına ulaşacak şekilde düzenlenirse,

$$Q = \frac{A}{(1/F) \int_0^T R dt} \quad (2.3)$$

halini almaktadır. Burada net sayımın integrali N ile gösterilir ve “toplam sayım” adı verilirse, Q’ya ulaşmak için kullanılan son denklem elde edilmiş olmaktadır (**Tuğrul ve Kara, 1994**). Kesitin sabit olması halinde " $Q = v.S$ " ifadesi kullanılabilir.

$$Q = \frac{AF}{N} \quad (2.4)$$

Toplam sayım N’yi bulmak için alınan örneklerin ayrı ayrı sayımları toplanabilir ya da yine alınan örnekler bir kaptan toplanıp ortak sayımları kullanılabilir. Bu teknik için kullanılabilecek radyoizotoplar arasında, pikten pike tekniğinde kullanılan radyoaktif izleyicilere ek olarak, geniş ölçekli akışlarda kullanmak üzere, "trityum"dan bahsetmek mümkün olmaktadır (**Gardner ve Ely, 1967**).

2.3.3.3. İzleyici Hızı Dengeleme Metodu

"İzleyici hızı dengeleme tekniği" ile de akış hızı tayini yapılabilmektedir. Bu teknik, “sürekli seyreltme tekniği” olarak da anılmaktadır. Bu tekniğin, izleyici dengeleme tekniğinden temel farklılığı, radyoaktif izleyicinin bir seferde değil de sabit bir hızla ve sürekli olarak sisteme enjekte edilmesidir. Ancak, izleyici dengeleme tekniğinde olduğu gibi, karışımın gerçekleştiği noktadan alınan örnek ya da örneklerin sayımları yapılarak hacimsel akış hızına benzer şekilde ulaşılmaktadır (**Gardner ve Ely, 1967**).

2.3.4. Analiz

Klasik metodların yetersiz kaldığı birçok güç analiz durumu mevcut bulunmaktadır. Bu durum özellikle, küçük miktarlarda ortaya çıkan bileşenler için ya da yavaş gelişen olaylarda söz konusudur.

Kompleks hidrokarbonlu sıvıların yanma reaksiyonlarının motorlarda yol açtığı tortu birikmesinin incelenmesi bunlardan biridir (**Gardner ve Ely, 1967**). Hangi hidrokarbonun ne kadar tortu biriktirdiğinin araştırılması uzun zaman almakta ve sonuçların hassasiyeti tartışılır olabilmektedir. Bu durumda, radyoaktif izleme tekniğinin kullanımı, hem kısa sürede sonuç vermekte ve hem de doğru veriler elde edilmesine olanak vermektedir. Karbon-14 bu amaçla kullanılan bir radyoizotopur.

Ayrıca, difüzyon katsayısı, çözünürlük sabitleri, yayılma katsayıları gibi birçok fiziksel ve kimyasal sabitler radyoaktif izleme tekniği ile kolayca belirlenebilmektedir.

2.3.5. Aşınma Tayini

Aşınma, sürtünme, korozyon ve ilgili konulardaki pek çok çalışma, radyoaktif izleyicilerin önemli bilgi sağladığı alanlardandır (**Gardner ve Ely, 1967**). Bu uygulamalar daha çok araştırma ve kalite güvence amaçlı radyoaktif izleyici kullanımları içinde yer almaktadır.

Bunlar arasında, özellikle otomotiv sektöründe piston aşınmaları testleri en iyi bilinen örnekler arasında sayılmaktadır. Burada, termal nötron akısı altında ışınlanan piston halkaları, test motoruna monte edilmektedir. Çalışma esnasında meydana gelen radyoaktif döküntü, yağın içinde süspansiyon meydana getirmekte ve bu durum kolayca detekte edilerek aşınma hakkında yorum yapılabilir.

2.3.6. İşlem Karakteristikleri Tayini

Radyoaktif izleme tekniklerinin, kimyasal ve mekanik üretim işlemlerinde de geniş kullanım alanı bulunmaktadır. Optimum karışım zamanının tayini bu alandaki önemli çalışmalardan biridir. Karışımındaki materyallerden birinin uygun radyoaktif izleyici ile karıştırılması ve işlemin normal seyrinde devam etmesi sağlanmaktadır.

Radyoaktif izleyici konsantrasyonunun karışım içindeki değeri homojenlik kazanınca, bunun için gerekli olan süre tespit edilmiş olmaktadır. Sayım değeri, karışım kabının bazı noktalarına yerleştirilmiş olan detektörler ile sürekli olarak ya da alınan örneklerin sayılmasıyla elde edilebilmektedir (**Gardner ve Ely, 1967**).

Bir sistemin işlem sırasındaki problemleri bir cevap frekansı oluşturur. Belirli bir frekansın örneğin sinüsoidal verisi sisteme verildiğinde aynı eğri çıktı olarak alınıyorsa, sistem lineer olarak yorumlanmaktadır. Bununla birlikte, genlik ve faz açısının belli bir aralıkta değişimi kabul edilebilir olmaktadır.

Bir kimyasal reaktör ya da emme kulesinin kontrol sistemlerinin dizayn ve kalibrasyon aşamasında sisteme verilen radyoaktif izleyicinin sistemden çıkış aşamasında oluşturduğu sayımların dağılımının poisson dağılımındaki sonuçlarla kıyaslanmasıyla da aynı sonuçlara yüksek duyarlılıkla ulaşmak mümkün olabilmektedir.

2.4. RADYOAKTİF İZLEME TEKNİĞİNİN AKIŞIN GÖRÜNÜRLEŞTİRİLMESİNDE KULLANIMI

Akışkanların pek çoğu, saydam ortamlıdır. Ancak, akışkan hareketlerinin incelenmesi, doğrudan gözlem bağlamında, insan gözünün algılama sınırlarının dışında yer almaktadır. Akışkan hareketlerini görünür kılmak amacıyla belirli teknikler kullanılmaktadır. Bu tekniklere, “Akış Görüntüleme Teknikleri” veya “Akış Görünürleştirilmesi (flow visualization) ” adı verilmektedir (Merzkirch, 1974, Nieuwstadt, 1992, Yang, 1989).

Akışın görünürleştirilmesinin, akışkanlar mekaniği problemlerinin anlaşılmasında daima önemli bir rolleri söz konusu olmaktadır (Merzkirch, 1974). Akış görünürleştirilmesini (flow visualization), üç gruba ayırarak, teknik açıdan sınıflandırmak mümkündür (Merzkirch, 1974).

Bunlar;

- Madde ilaveli görünürleştirme teknikleri
- Optik görünürleştirme teknikleri
- Birleşik görünürleştirme teknikleri

2.4.1. Madde İlaveli Görünürleştirme Teknikleri

Akış görünürleştirilmesi (flow visualization) tekniklerinden ilki, akışa dışarıdan madde ilave edilen tekniklerdir. İlave edilen madde, eğer yeterince küçük parçacıklardan oluşuyorsa, bu parçacıkların hareketi akışkanın hızı ile aynı yön ve doğrultuda olmaktadır.

Akışkan yoğunluğunun değişim gösterdiği sıkıştırılabilir sıvılarda bu tekniğin hatası artabilmektedir. Boya, duman, buhar, ağ, püskül ve küçük parçacıklar dışarıdan ilave edilen maddeler arasında sayılabilmektedir (Merzkirch, 1974).

Görüntünün elde edilmesi amacıyla kullanılan kayıt sistemi, parçaçığın boyutuna ve akışkanın tahmin edilen hız aralığına bağlı olarak değişmektedir. Bu sistemlerle iki prensibe göre çalışılabilmektedir. Birinci prensip, belirli poz süreleri kullanarak akış alanının tekli ya da çoklu fotoğrafik görüntülerinin alınmasına dayanmaktadır. Diğeri ise, akış alanının belirli bir hacminde yer alan parçaçıkların hızlarını zamanın bir fonksiyonu olarak elektro-optik yöntemler aracılığıyla kaydedilmesi olmaktadır.

2.4.2. Optik Görünürleştirme Teknikleri

Bu gruptaki teknikler bazı şartlar ve akış tipleri için ileri sonuçlar verebilmektedir. (Merzkirch, 1974). Sıkıştırılabilir sıvıların yoğunluk değişimleri, bir başka deyişle, optik anlamdaki faz değişimleri, sıvıyı geçen ışık ışınının genlik ve yoğunluğunda bir değişime yol açmaktadır. Bu değişim, ilk grupta olduğu gibi bir kayıt ortamı yoluyla saptanabilmektedir

Shadowgraph, Schlieren, Laser Doppler, Holography ve Interferometry bu amaçla kullanılan tekniklerin önemlilerini oluşturmaktadır. Genellikle, ileri ve pahalı tekniklerdir.

2.4.3. Birleşik Görünürleştirme Teknikleri

Son grupta yer alan teknikler ise prensip olarak yukarıda bahsi geçen iki teknik grubunun bir kombinasyonudur. Burada, akışa ısı ya da elektrik deşarjı halinde enerji ilavesi yapılır. Deşarj esnasında sıvı veya katılan herhangi bir madde kendiliğinden aydınlanır ve bu durum doğrudan gözlemlenebilir.

Birleşik görünürleştirme tekniklerinin, genellikle düşük ortalama yoğunluklu sıvılardaki uygulamalarının iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Spark-Tracer, Velocity Mapping, Electron-Beam, Glow Discharge ve Chemiluminescence bu gruptaki tekniklerin önemlileri olarak sayılabilmektedir (Merzkirch, 1974).

BÖLÜM 3

GİRDAP (VORTEKS) AKIŞI

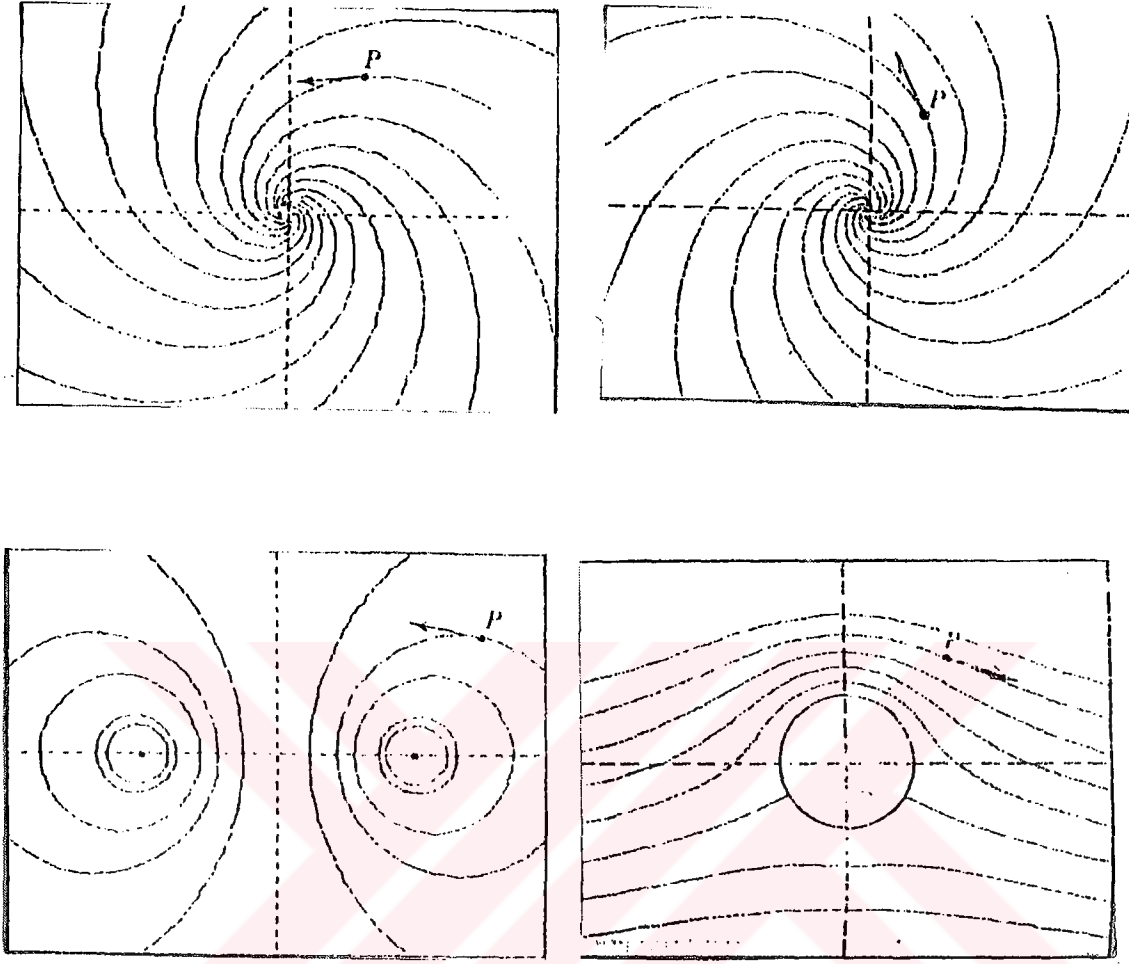
3.1. GİRDAP (VORTEKS) AKIŞI TANITIMI

Girdap (vorteks) akışından bir potansiyel akım türü olarak bahsedilebilir (Örs,1999). Bu durumda, öncelikle potansiyel akımın türünün tanıtımı gerekmektedir.

Potansiyel akım, sürtünmesiz ve sıkıştırılamaz kabul edilen ideal akışkanların hız vektörlerini bulmak için bir potansiyel fonksiyondan yararlanan matematiksel bir kuramdır. Bu kuramda, hız potansiyeli fonksiyonunun yanı sıra akım potansiyeli fonksiyonu da önemli rol oynamaktadır. İşte bu fonksiyonun, sabit değerleri akım çizgilerini vermektedir. Bu bağlamda, akım çizgileri; verilen bir anda, akış elemanlarının hız vektörlerinin tanjantı olan eğrilerdir (Douglas ve ark. 1995).

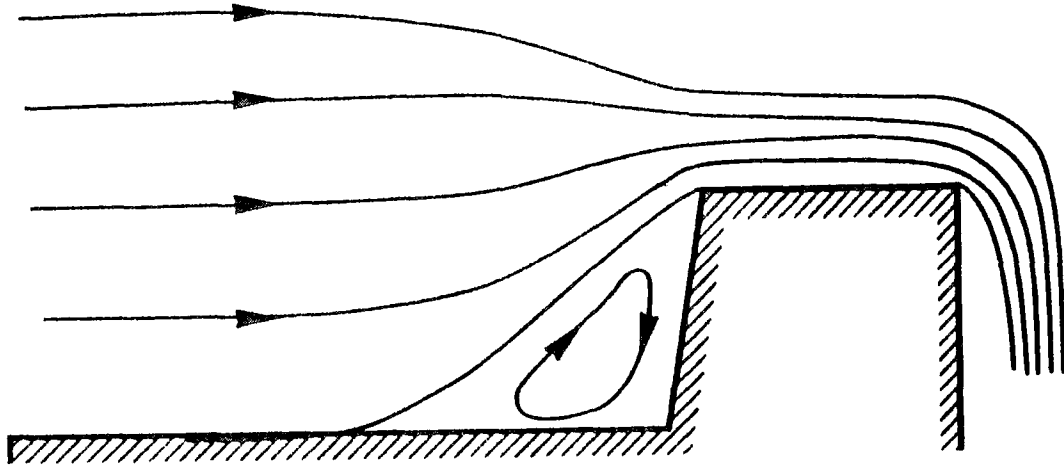
Öz olarak, girdap (vorteks) akışını; akım çizgilerinin birbirine paralel olmadığı iki boyutlu akış örneklerinden biri olarak tanımlamak mümkündür (Douglas,1986). Akım çizgilerinin bu eğriliği, merkezkaç kuvvetleri ile sıvının basınç gradyeni arasındaki dengelenmenin bir sonucudur (Şekil 3.1).

Genellikle, akışkan akışları üç boyutta gerçekleşir. Bu husus, akışta; hız, basınç ve diğer parametrelerin üç eksene bağımlı olarak değiştiği anlamına gelmektedir. Ancak bazı problemlerde, ana değişimler sadece iki, bazen de tek yönde meydana gelebilmektedirler.



Şekil 3.1. Bazı Girdap (Vorteks) Akışları ve Bu Akışlardaki Akım Çizgileri
(Fox,1985)

Böyle olduğunda, analizi basitleştirmek amacıyla yalnızca değişimin olduğu eksenî göz önüne almak, kabul edilebilir bir durumdur. İşte tanımda geçen iki boyutlu akış kavramı da bunu ifade etmektedir. Böyle akışlarda, parametreler hem akış yönüyle ve hem de dik açıda başka bir yön ile değişmektedirler. Bu bağlamda, bu tip akışlarda, akım çizgileri bir düzlem boyunca uzanan ve buna paralel bütün düzlemlerde özdeş olan eğriler şeklindedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. İki Boyutlu Akışlarda Akım Çizgisi Örneği
(Douglas ve ark. , 1995)

3.2. GİRDAP (VORTEKS) HAREKETİ TİPLERİ

Girdap (vorteks) hareketinin farklı çeşitleri mevcuttur ve bu tip hareket gruplandırılarak incelenebilir. Bu hareket tipini gruplandırırken, akışkan tanımının sınırlarını gözden geçirmenin gerekliliği sözkonusudur. Mevcut haliyle, akışkan tanımı sadece sıvı akışkanları değil, gaz akışkanları da kapsamaktadır. Bu haliyle, inceleme hayli kapsamlıdır. Bu Yüksek Lisans tezi çerçevesinde, sadece sıvı akışı ile inceleneceğinden, girdap (vorteks) hareketine ilişkin sınıflandırma, sadece sıvı akışkanlar esas alınarak yapılacaktır.

Sıvı akışkanlar için üç tip girdap (vorteks) hareketi tanımlanabilir (Douglas,1986). Bunlar;

- Cebri girdap (vorteks) hareketi
- Serbest girdap (vorteks) hareketi
- Bileşke girdap (vorteks) hareketi

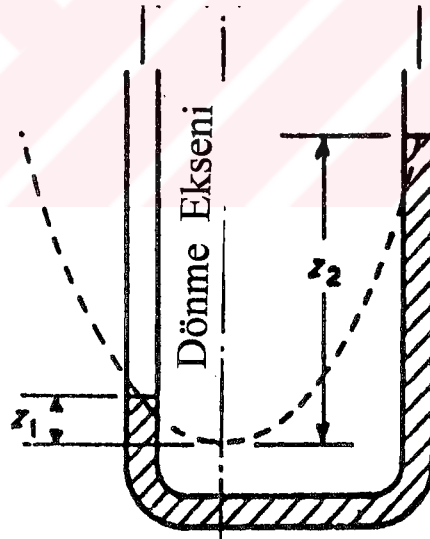
"Cebri girdap (vorteks) hareketi"nde, sıvı; sabit bir açısal hızla kendi eksenini etrafında dönmektedir. Burada, toplam enerji değişimi (H) ve hareketin belli bir mukayese düzleminde yüksekliği (z), hareketin belirlenmesi bakımından önemli iki parametre durumundadır. Bu parametreler;

$$H = \frac{w^2 r^2}{g} + C \quad (C, \text{ sbt}) \quad (3.1)$$

$$z = \frac{w^2 r^2}{2g} + C \quad (C, \text{ sbt}) \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Denklemlerdeki diğer ifadelerden w , açısal hız karşılık gelirken, g , yerçekimi ivmesi ve C de sabittir.

Şekil 3.3'de, içinde su bulunan U şeklindeki bir tüpün x eksenini boyunca döndürülmesiyle oluşan cebri girdap (vorteks) hareketi görülmektedir. Burada kesikli çizgilerle belirlenmiş olan yüzey bir paraboloid şeklindedir.



Şekil 3.3. Cebri Girdap (Vorteks) Hareketi (Douglas, 1986)

Serbest girdap (vorteks) hareketi kendi içinde serbest silindirik girdap (vorteks) hareketi ve serbest spiral girdap (vorteks) hareketi olarak ayrırımlanabilmektedir. Serbest silindirik girdap (vorteks) hareketinde sıvı; yatay, eşmerkezli silindirik daireler olan akış çizgileri boyunca hareket eder. Toplam enerji yarıçapla değişmez.

Serbest girdap (vorteks) hareketi kendi içinde serbest silindirik girdap (vorteks) hareketi ve serbest spiral girdap (vorteks) hareketi olarak ayırtılabilmektedir. Serbest silindirik girdap (vorteks) hareketinde sıvı; yatay, eşmerkezli silindirik daireler olan akış çizgileri boyunca hareket eder. Toplam enerji yarıçapla değişmez. Bu durumda,

$$dH / dr = \frac{v}{g} \left(\frac{v}{r} + \frac{dv}{dr} \right) = 0 \quad (3.3)$$

yazılabilir (Douglas,1986). Denklem 3.3'den hareketle,

$$v \cdot r = C \quad (3.4)$$

sonucuna ulaşılmaktadır (Douglas,1986). Burada, C bir sabit olup "girdap (vorteks) hareketi gücü" ya da dayanıklılığı olarak adlandırılır. v ise verilen yarıçaptaki hız değerine karşılık gelen ifadedir.

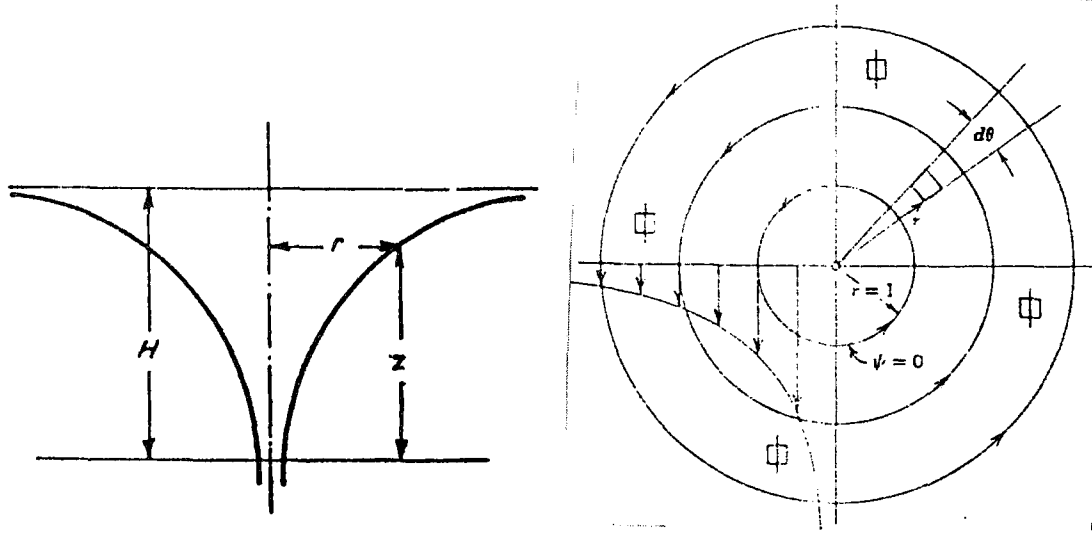
İki eşmerkezli akış çizgisi üzerinde bulunan farklı iki nokta için (p_1 ve p_2 , o noktadaki sıvı basınçları olmak üzere) Bernoulli denkleminde faydalanılarak, toplam enerji değişiminin sıfır olduğu şartı altında,

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = H \quad (3.5)$$

yazılabilir (Douglas,1986).

Denklem 3.5'in çözümünden, serbest silindirik yüzeyin şeklini bize veren ifade elde edilebilir (Douglas,1986):

$$H - z = \frac{C^2}{2gr^2} \quad (3.6)$$



Şekil 3.4 Serbest Silindirik Girdap (Vorteks) Hareketi) (Douglas, 1986)

Serbest silindirik girdap (vorteks) hareketinin görüldüğü Şekil 3.4'den de görülmektedir ki; serbest silindirik girdap (vorteks) hareketinin şekli, asimptotik bir hiperboldür.

“Serbest spiral girdap (vorteks) hareketi”, serbest silindirik girdap (vorteks) hareketi ile radyal hareketin birlikte meydana gelmesinden oluşur. Sıvı döner ve aynı zamanda radyal olarak akar. Bu durumda, akışa bırakılan parçacıklar da spiral bir yol takip ederler (Douglas,1986).

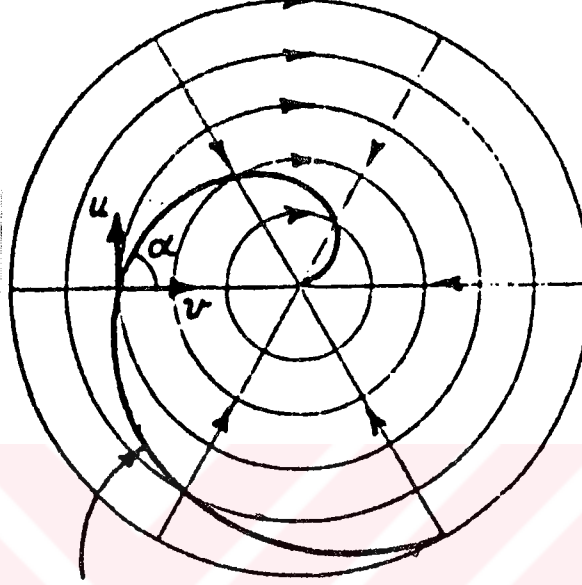
Radyal akışta, hareket; merkezden dışa doğru ya da dışarıdan merkeze doğrudur. Bu durum, akışın hız bileşenlerinin sayısını ikiye çıkarır. Hızın teğetsel bileşeninden başka bir de radyal bileşeni devreye girer. Bu durumda herhangi bir noktanın bileşke hızından (V) bahsedilir:

$$V = \sqrt{v_a^2 + u_a^2} \quad (3.7)$$

Burada; V , bileşke hızı, v , radyal hızı ve u ise dairesel hızı temsil etmektedir.

Akış çizgisi ile yarıçap arasındaki açı (α) ise, aşağıdaki ifade ile belirlenebilir (Douglas,1986).

$$\tan \alpha = \frac{v_a}{u_a} \quad (3.8)$$

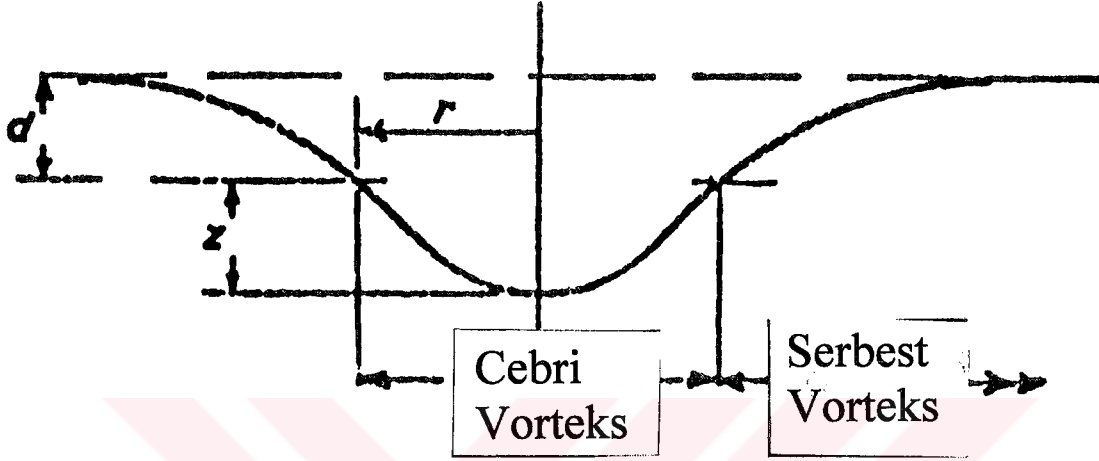


Şekil 3.5. Serbest Spiral Girdap (Vorteks) Hareketi (Douglas, 1986)

Bir diğer girdap (vorteks) hareketi türü “bileşke girdap (vorteks) hareketi”dir. Bileşke girdap (vorteks) hareketi iki hareketin birlikte gerçekleşmesinden oluşur. Merkezden bir r yarıçapı mesafeye kadar cebri girdap (vorteks) hareketi etkin iken bu yarıçaptan sonra serbest girdap (vorteks) hareketlerinden biri görülür. Toplam enerji, yine yarıçapla değişir. Toplam çökmeyi, bir başka deyişle, yüzeyin şeklini veren ifade ise;

$$z + d = \frac{w^2 r^2}{g} \quad (3.9)$$

şeklindedir. Burada d , cebri girdabın (vorteks) bittiği noktanın yüzeye olan uzaklığını ifade etmektedir. Şekil 3.6'da bir bileşke girdap (vorteks) hareketi görülmektedir.



Şekil 3.6 Bileşke Girdap (Vorteks) Hareketi (Douglas, 1986)

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu Yüksek Lisans tez çalışması çerçevesinde, serbest girdap (vorteks) akışının radyoaktif izleme tekniği ile incelenmesi hedeflenmiştir. Bu inceleme çerçevesinde, akış takibi bağlamında akış hız tayini ve akışın görünürleştirilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bir başka deyişle, bu Yüksek lisans tezi çerçevesinde akış takibi, geniş kapsamlı olarak düşünülerek, farklı yönlerden ele alınarak deneysel çalışmalar yapılmıştır.

4.1. KULLANILAN RADYOAKTİF İZLEYİCİNİN TANITIMI

Radyoaktif izleyicinin seçilmesi tekniğin uygulamasında önemli bir aşamadır. Radyoaktif izleme tekniğinin başarısı, önemli ölçüde radyoaktif izleyici olarak seçilen radyoizotopun uygunluğuna bağlı olduğundan, bu hususa gerekli özen gösterilmiştir.

Bu Yüksek Lisans Tez çalışması çerçevesinde deneylerde radyoaktif izleyici olarak sodyum-24 (Na-24) kullanılmıştır. Tablo 4.1’de kullanılan sodyum-24 radyoizotopunun özellikleri görülmektedir.

Tablo 4.1
Kullanılan Na-24 Radyoizotopunun Özellikleri

Radyoizotop	Yarı Ömrü	Gama Enerjisi
Na-24	14,96 saat	1,37 MeV 2,75 MeV

Deneylerimizde Na-24 radyoizotopunun seçilmesi bir çok açıdan deney amacımıza uygun olmasından ötürüdür. Bu nedenler olarak; Na-24'ün

- Gama aktif bir radyoizotop olması,
- Gama enerji piklerinin yüksek değerlerde olması,
- Labratuvar çalışmasına uygun süreli, ancak kısa yarı ömrü olması
- Suyla olan uyumluluğu
- Bulunabilirliği
- Fiyatı

sayılabilir. Bütün bu faktörler Na-24'ün deneylerimizde kullanılması için öne çıkan etkenler olmuş ve deneylerde radyoizotop seçiminden dolayı sorunla karşılaşmamıştır. Bu bağlamda, Na-24, suyla laboratuarda yapılan bir çok hidrolojik deney için olduğu gibi, bu Yüksek Lisans tezi çerçevesinde uygulanan serbest girdap akımı (vorteks) hareketin takibinde de radyoaktif izleyici olarak kullanımı uygunluk göstermiştir.

Sodyum elementi kimyasal olarak reaktif bir malzeme olduğundan dolayı, bileşik halinde kullanmak zorunluluğu vardır. Bu durum sodyumun yaptığı bileşiklerin arasından seçim yapmayı gerektirir. Tablo 4.2. de sodyumun yaptığı bazı bileşikler ve özellikleri görülmektedir.

Tablo 4.2.**Sodyumun Yaptığı Bazı Bileşikler ve Özellikleri**

Sodyum Bileşiği	Kimyasal Formülü	Erime Noktası (⁰ C)	Suda Çözünme Miktarı (g / l)	Toksisite
Sodyum Karbonat	Na ₂ CO ₃	891	210	Göz ve deriyi tahriş edebilir
Sodyum Klorid	NaCl	800	360	-----
Sodyum Florid	NaF	990	40	Zehirli
Sodyum Bikarbonat	NaHCO ₃	270	100	-----
Sodyum İyodid	NaI	651	1790	-----
Sodyum Nitrat	NaNO ₃	309	880	Oksitlenme ve patlama riski var
Sodyum Hidroksit	NaOH	324	1090	Korozif etkisi var, buharı solunmamalı

Tablo 4.2’de görülen bileşiklerin içerisinde sodyum karbonat (Na_2CO_3) tercih edilerek, deneylerde kullanılmıştır. Bu bileşiğin seçilmesinin nedeni ise, bileşikteki karbonun nötronlar ile bombardımanı esnasında aktiflenmemesi ve oksijenin diğer sodyum bileşiklerindeki elementlerden örneğin klorinden daha az aktiflenmesidir. Böylelikle deneylerde sadece Na-24 radyoizotopu ile çalışılmış olmaktadır.

Sodyum karbonat, bulunabilirlik açısından kolay ulaşılabilen bir bileşik durumundadır. Buna karşın, deneylerde kullanılacak sodyum karbonat Merck’den temin edilmiştir. Böylelikle, kalitesinden emin olunabilen bir sodyum karbonat bileşiğine ulaşıldığı ve olabildiğince safsızlık elemanlarının elimine edilebildiği düşünülmüştür. Tablo 4.3’de kullanılan sodyum karbonatın özellikleri görülmektedir (Merck, 1996).

Tablo 4.3.

Deneylerde Kullanılan Sodyum Karbonatın Özellikleri (Merck, 1996).

Bileşik	Kimyasal Formülü	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Erime Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	Suda Eriyebilirliği (20 $^{\circ}\text{C}$ ’da g/l)	Saflığı (%)
Sodyum Karbonat	Na_2CO_3	105,99	891	210	99,5 (min)

Kullanılan sodyum karbonat hayli saf olmasına karşın, % 0,5 oranında safsızlık elemanı da bulunmaktadır. Bu safsızlık elemanlarının ppm mertebesinde olarak klor, silikat, sülfat, baryum ve potasyum olduğu belirtilmiştir (Merck, 1996).

4.2. RADYOAKTİF İZLEYİCİNİN HAZIRLANMASI

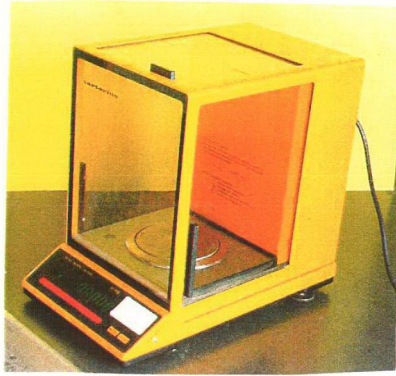
Sodyum karbonat bileşiği içinde kullanılması amaçlanan sodyum-24 radyoizotopunun serbest girdap akımı (vorteks) incelemesi amacıyla hem akış hızı tayini ve hem de akışın görünürleştirilmesi amaçlı kullanılması hedeflenmiştir. Söz konusu bu iki farklı uygulama için farklı miktarlarda radyoaktif izleyici kullanılmıştır. Her iki uygulama için de, Na-24 radyoizotopu, ışınlamayla Na-23 (n, γ) Na-24 reaksiyonu çerçevesinde elde edilmiştir.

4.2.1. Akış Hızı Tayini İçin Radyoaktif İzleyicilerin Hazırlanması

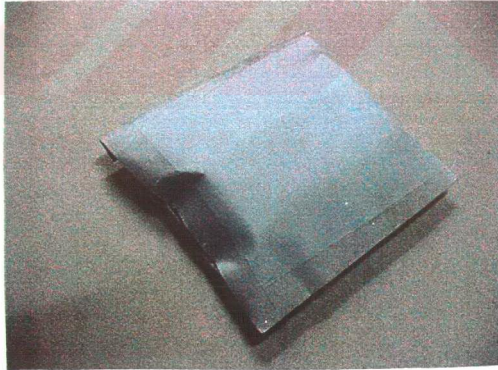
Serbest girdap akımı (vorteks) akış takibi incelemesi amacıyla akış hızı tayinine yönelik çalışmalar için kullanılacak sodyum karbonatın 10 cc içinde eriyik olarak hazırlanmasının uygun olabileceği düşünülmüştür. Öte yandan, deneylerde enjeksiyonun, 1 normal eriyik olarak kullanılması tercih edilmiştir.

Bu durumda, 10 cc enjeksiyon için 1 normal sodyum karbonat eriyiği için gerekli 530 mg bileşik hassas terazide tartılarak paketçik haline getirilmiştir. Şekil 4.1 ve şekil 4.2’de sırasıyla hassas terazide çalışma ve sodyum karbonatın paketçik hali görülmektedir.

Serbest girdap akımı (vorteks) incelemesi amacıyla akış hızı tayinine yönelik çalışmalarda kullanılacak Na-24 radyoizotopunun eldesi için İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü’nde mevcut TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü’nün olanaklarından yararlanılmıştır. Işınlama, İ.T.Ü. TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörünün tavşan sisteminde, $1.65.10^{12}$ n/cm²s’lik akı değeri altında, 144 s süre ile gerçekleştirilmiştir. Işınlama sonucunda 0,588 mCi/gr (21,76 MBq/gr) lik aktiviteye ulaşılmıştır. Kullanılan radyoaktif izleyici için müsaade edilen maksimum izleyici aktivitesi 74 MBq (2mCi) olmaktadır. Çalışmamızdaki ortalama aktivite değeri bu miktarın hayli altında olduğundan, radyasyon güvenliği açısından tehlike oluşmamıştır. (Gardner, 1967). Işınlamadan sonra, bir miktar soğuması için beklenmiş ve daha sonra reaktörden alınarak, deneylere geçilmiştir.



Şekil 4.1. Hassas Terazi Çalışması



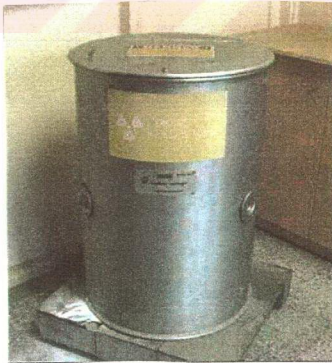
Şekil 4.2. Işınlamaya Hazırlanmış Sodyum Karbonat Paketçigi

4.2.2. Akış Görünürleştirilmesi İçin Radyoaktif İzleyicinin Hazırlanması

Serbest girdap akımı (vorteks) akış takibi incelemesi amacıyla akış görünürleştirilmesine yönelik çalışmalar için sodyum karbonatın yine 10 cc içinde eriyik olarak hazırlanmasının uygun olabileceği düşünülmüştür. Öte yandan, deneylerde enjeksiyon, 10 ila 25 normal eriyik arasında farklı miktarlarda kullanılmıştır.

Serbest girdap akımı (vorteks) incelemesi amacıyla akış görünürleştirilmesine yönelik çalışmalarda kullanılacak Na-24 radyoizotopunun eldesi için İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı – Nükleer Uygulamalar Laboratuvarı'nda mevcut Howitzer'in olanaklarından yararlanılmıştır. Şekil 4.3'de Howitzer görülmektedir.

Söz konusu kaynak, Pu-Be (α, n) radyoizotop kaynağı olup, yaklaşık 10^5 n/cm²s'n lik akı değerine sahiptir. Işınlama, 15 saat süre ile yapılmıştır. Işınlamadan sonra, kısa bir miktar beklendikten sonra, deneylere geçilmiştir.



Şekil 4.3 Howitzer

4.2.3. Akış Görünürleştirilmesi İçin Boya İzleyicinin Hazırlanması

Serbest girdap akımı (vorteks) akış takibi incelemesi amacıyla akış görünürleştirilmesine yönelik çalışmalar için sodyum karbonata alternatif olarak bir boya izleyicinin de kullanılması düşünülmüştür. Böylelikle, hem farklı bir izleyici ile akış takibi yapılmış olacak ve hem de radyoaktif izleyici çalışmaları mukayeseli olarak değerlendirilebilecektir.

Serbest girdap akımı (vorteks) akış takibi incelemesi çerçevesinde akış görünürleştirilmesine yönelik çalışmalar için boya izleyici olarak Şekil 4.4'teki madde kullanılmıştır. Köpük oluşturan bir kimyasal madde olup, serbest girdap akımı (vorteks) akış takibi için uygun bir malzeme olduğu düşünülmüştür.

Söz konusu tensider (aktif madde) esaslı % 5 amfotere tensider, % 5-15 non-iyonik tensider ve % 25-30 an-iyonik tensider madde ihtiva eden kimyasal maddeden yaklaşık 1,2 – 1,5 g olarak kullanılmış ve boya izleyici bir seferde verilmiştir.



Şekil 4.4. Kullanılan Boya İzleyici

4.3. DENEYDE KULLANILAN CİHAZLARIN TANITIMI

Serbest girdap (vorteks) hareketinin akış takibine yönelik yapılan çalışmalar farklı cihazların kullanılmasını gerektirmiştir. Akış takibi içinde akış hız ve akış görünürleştirilmesine yönelik deneyler için hem ortak kullanılabilen ve hem de amaca uygun farklı cihaz ve elemanların kullanılması elzem olmuştur.

4.3.1. Serbest Vorteks Hareket Akışın Yaratılması

Bu Yüksek Lisans tezinin önemli bir aşaması serbest girdap (vorteks) hareketinin yaratılmasıdır. Bu amaçla farklı cihaz veya elemanlar kullanılabilir. Ancak bu çalışmada bir manyetik karıştırıcı cihazdan yararlanılmıştır. Kullanılan manyetik karıştırıcı, ELEKTRO-MAG marka M22 Model bir manyetik karıştırıcı olup, Şekil 4.5’de görülmektedir.

Serbest girdap (vorteks) hareketinin yaratılmasında manyetik karıştırıcının kullanılmasının tercih edilmesinin farklı nedenleri bulunmaktadır. Bunlar;

- Serbest girdap (vorteks) hareketinin yaratılmasında akışa minimum müdahalenin söz konusu olması,
- Deney boyunca, serbest girdap (vorteks) hareketine minimum müdahalenin söz konusu olması
- Cihazdan, akışa ilave karışacak herhangi bir elemanın olmaması,
- Serbest girdap (vorteks) hareketinin kolay yaratılması,
- Serbest girdap (vorteks) hareketinin uzun veya kısa süreli yaratılmasına olanak vermesi.
- Serbest girdap (vorteks) hareketinin çabuk yaratılması ve bozulmaması

olarak sayılabilir.



Şekil 4.5 Kullanılan Manyetik Karıştırıcı

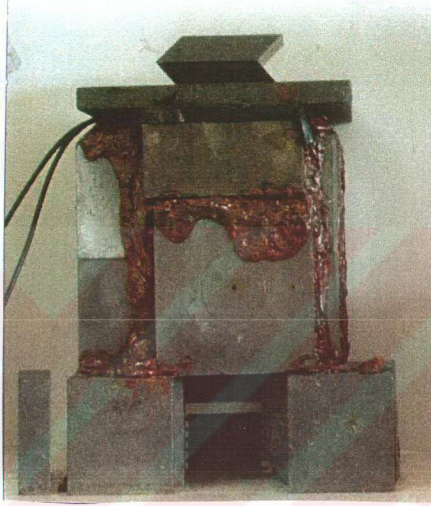
4.3.2. Serbest Vorteks Hareket Akış Hızı Tayini İçin Kullanılan Cihazlar

Bu Yüksek Lisans Tez çalışması çerçevesinde, serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış takibi içinde, öncelikle akış hızı tayini yapılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, serbest girdap (vorteks) hareketi yaratıldıktan sonra, örnek alma felsefesi ile radyoaktif izleyicinin sayılarak değerlendirilmesi gerekmiştir. Sayım işlemleri için bir sintilasyon detektörü ile bir çok kanallı analizörden yararlanılmıştır.

4.3.2.1. Kullanılan Sintilasyon Detektörü

Sayımlar için kullanılan sintilasyon detektörü NaI(Tl) detektörüdür. Böyle bir detektörün sayımlar için tercih edilmesinin nedeni; sayım veriminin yüksek olmasıdır.

Kullanılan detektör, çevre şartlardan eliminasyonun sağlanması için bir kurşun hücre içine konmuş ve tüm sayımlar, aynı geometride ve aynı kurşun hücre içinde yapılmıştır. Şekil 4.6'da sayımlarda kullanılan kurşun hücre ve NaI(Tl) sintilasyon detektörü görülmektedir.



Şekil 4.6. Sayımlarda Kullanılan Kurşun Hücre ve NaI(Tl) Sintilasyon Detektörü

4.3.2.2. Çok Kanallı Analizör

Sayımlar için NUCLEUS Marka 800A tipi bir çok kanallı analizörden yararlanılmıştır. Böylelikle, sayımlarda güvenilir ve ileri bir sayım değerlendirme sisteminden yararlanılmıştır. Çok kanallı analizör, Sezyum kullanılarak kanal başına 20 keV'lik kazanç gelecek şekilde kalibre edilmiştir. Şekil 4.7'de sayımlarda kullanılan çok kanallı analizör görülmektedir.



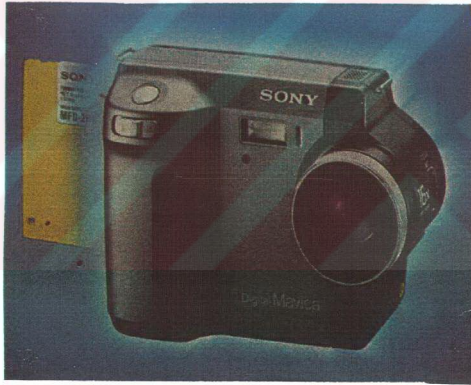
Şekil 4.7. Sayımlarda Kullanılan Çok Kanallı Analizör

4.3.3. Serbest Vorteks Hareket Akış Görünürleştirilmesi İçin Kullanılan Cihazlar

Serbest girdap (vorteks) hareketinin görünürleştirilmesi için ayrıca bir cihaz kullanılmamıştır. Ancak, farklı elemanlardan yararlanılmıştır. Radyoaktif izleyici veya boya izleyici ile çalışılması halinde yararlanılan yardımcı elemanlar farklı olmuştur.

Radyoaktif izleyici ile serbest girdap (vorteks) hareketinin görünürleştirilmesi için StructureX orta hızlı (D7) fiminden yararlanılmıştır. Film banyosu için StructureX fimler için kullanılan geliştirici (developer) ve tespit (fixer) banyolarından yararlanılmıştır.

Boya izleyici ile görünürleştirme için ise, “tensider” esaslı kullanılan boya izleyici ile oluşturulan serbest girdap (vorteks) hareketi için görüntü bir digital kamera yardımı ile alınmıştır. Kullanılan digital kamera Sony marka Mavica MVC-FD 90 tipinde olup, Şekil 4.8’de görülmektedir.



Şekil 4.8. Kullanılan Digital Kamera

4.4. DENEY DÜZENEGİNİN TANITIMI

Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış takibi için yapılan deneysel çalışmalar çerçevesinde esas itibarıyla serbest girdap (vorteks) hareketinin oluşturulması ve akış hızı tayinine yönelik olarak düzenek kullanımı söz konusu olmuştur.

4.4.1. Serbest Girdap (Vorteks) Hareketin Oluşturulması Düzenegi

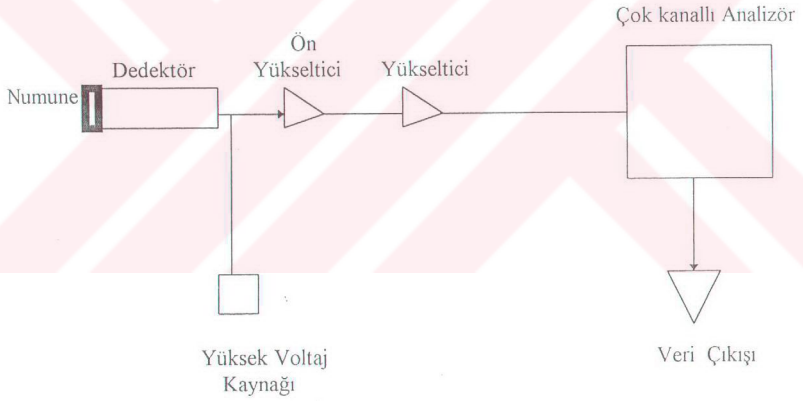
Serbest girdap (vorteks) hareketinin oluşturulması için 1000 cc'lik bir cam (plexiglass) beher ve bir manyetik karıştırıcıdan yararlanılmıştır. Söz konusu beher içine konan duru su içine manyetik karıştırıcının “balık” olarak adlandırılan manyetik elemanı konmuş ve bu haliyle beher, manyetik karıştırıcı üzerine konularak, manyetik karıştırıcı çalıştırılmıştır. Şakil 4.9'da serbest girdap (vorteks) hareketinin oluşturulmasında kullanılan düzenek görülmektedir.



Şakil 4.9. Serbest Girdap (Vorteks) Hareketinin Oluşturulmasında Kullanılan Düzenek

4.4.2. Serbest Girdap (Vorteks) Hareketi Akış Hızı Tayini İçin Kullanılan Düzenek

Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış hızı tayinine ilişkin olarak örnek alma tekniği çerçevesinde çalışılmış ve alınan radyoaktif örnekler, daha önce detektörü ve çok kanallı analizörü tanıttan sayım sistemi ile sayılmıştır. Şekil 4.10'da kullanılan sayım sisteminin blok şeması ve Şekil 4.11'de de fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 4.10 Serbest Girdap (Vorteks) Hareketine İlişkin Akış Hızı Tayininde Kullanılan Sayım Sisteminin Blok Şeması



Şekil 4.11 Serbest Girdap (Vorteks) Hareketine İlişkin Akış Hızı Tayininde Kullanılan Sayım Sisteminin Fotoğrafi

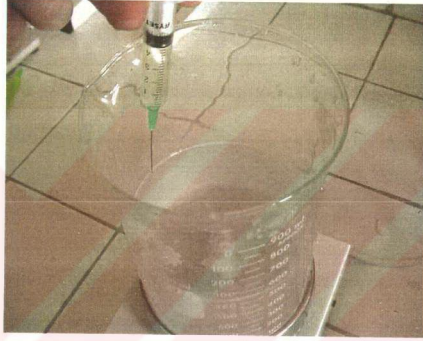
4.5. DENEYİN YAPILIŞI

Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin deneyin yapılabilmesi için öncelikle serbest girdap (vorteks) hareketinin oluşturulması gerekmektedir. Söz konusu deney, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü – Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı Radyoaktif İzleyici Laboratuvarı olanakları ile gerçekleştirilmiştir.

Serbest girdap (vorteks) hareketinin oluşturulmasında, su dolu cam (plexiglass) beher ve manyetik karıştırıcı kullanılması esas alınmıştır. Ancak, çalışmanın verimli olması açısından, farklı beher ve farklı su miktarları ile duru su kullanılarak ön çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, en uygun çalışma şartlarından birinin 1000 cc'lik beherde 500 cc su konarak yapılması olacağı kanaatine verilmiştir.

4.5.1. Radyoaktif İzleyici İle Yapılan Deneylerin Yapılışı

Radyoaktif izleyici çalışmaları 1 normal 10 cc olarak hazırlanan sodyum karbonat eriyiği, serbest girdap (vorteks) hareketi oluşturulmuş beherin içine 10 cc'lik enjektör kullanılarak verilmiştir. Enjeksiyon bir seferde yapılmış ve homojen karışımın oluşması için yaklaşık 3 dakika beklenmiştir. Şekil 4.12'de radyoaktif izleyicinin verilmesi görülmektedir.



Şekil 4.12 Radyoaktif İzleyicinin Verilişi

Radyoaktif izleyici kullanılarak serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış takibi deneyleri iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir.

Bunlar;

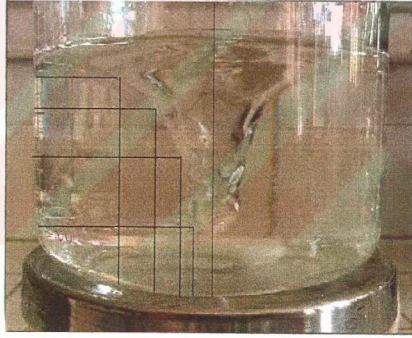
- Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış hızı tayini
- Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış görünürleştirme çalışmaları

olmaktadır

4.5.1.1. Serbest Girdap (Vorteks) Hareketi Akış Hızı Tayini Deneyinin Yapılışı

Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış hızı tayinine ilişkin olarak örnek alma tekniği çerçevesinde çalışılmıştır. Örnek alma işlemi, serbest girdap (vorteks) hareketinin merkezden farklı uzaklıklarından gerçekleştirilmiştir. Örnekler, her biri 5 cc olan enjektörlere alınmıştır.

Alınan radyoaktif örnekler, Bölüm 4.4.2’de tanıtılan sayım düzeneğinde hep aynı şartlarda ve hep aynı geometride en az üç kez sayılmıştır. Şekil 4.13’te alınan örneklerin deney düzeneğinde sayımı görülmektedir.



Şekil 4.13 Örneklerin Alındığı Noktalar

Alınan sayımlardan doğal ortam sayımları çıkarılarak (background) net sayımlar elde edilmiş ve deney yorumu net sayımlar üzerinden yapılmıştır. Sayımlara ilişkin standart sapmalar hesaplanmıştır. Ayrıca, örnek alma şartları için Bölüm 3 içinde ayrıntısı verildiği üzere, serbest silindirik girdap (vorteks) hareketi bağlamında teorik hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

4.5.1.2. Serbest Girdap (Vorteks) Hareketi Akış Görünürleştirilmesi Deneyinin Yapılışı

Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış görünürlleştirilmesine ilişkin olarak otoradyografi tekniği çerçevesinde çalışılmıştır. Bu bağlamda olmak üzere, Serbest girdap (vorteks) hareketinin oluşturulduğu manyetik karıştırıcı üzerindeki beherin etrafına esnek kaset içine yerleştirilmiş StructureX orta hızlı (D7) filmi sarılmış ve öylece beklenmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Serbest Girdap (Vorteks) Hareketine İlişkin Akış Görünürlleştirme Deneyinin Yapılışı

Anlamalı görüntü oluşturulabilmesi için yapılan çeşitli görünürlleştirme deneyleri çerçevesinde bir çok deney yapılmış ve uygun sonuç alınabilen şartlara ulaşılmıştır. Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış hızı görünürlleştirilmesi çalışılan film ile daha yüksek miktarda radyoaktif izleyici ile çalışılması gerekmiştir. Bu şartlarda yaklaşık 5.5 saat pozlama süresi uygulanmıştır.

4.5.2. Bova İzleyici İle Yapılan Deneylerin Yapılışı

Boya izleyici ile serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış görünürleştirilmesine ilişkin olarak ayrıca çalışılmıştır. Bu amaçla kullanılan kimyasal madde, cam beherde manyetik karıştırıcı kullanılarak oluşturulan serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akışa doğrudan katılmıştır.

Deneyde görüntü algılaması bakımında en verimli şartların oluşması için, serbest girdap (vorteks) hareketine kimyasal madde katıldıktan sonra yaklaşık 5 dakika süre ile beklenmiştir. Bundan sonra, beherin tam üzerinden digital kamera kullanılarak, kalıcı görüntü alımı gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 5

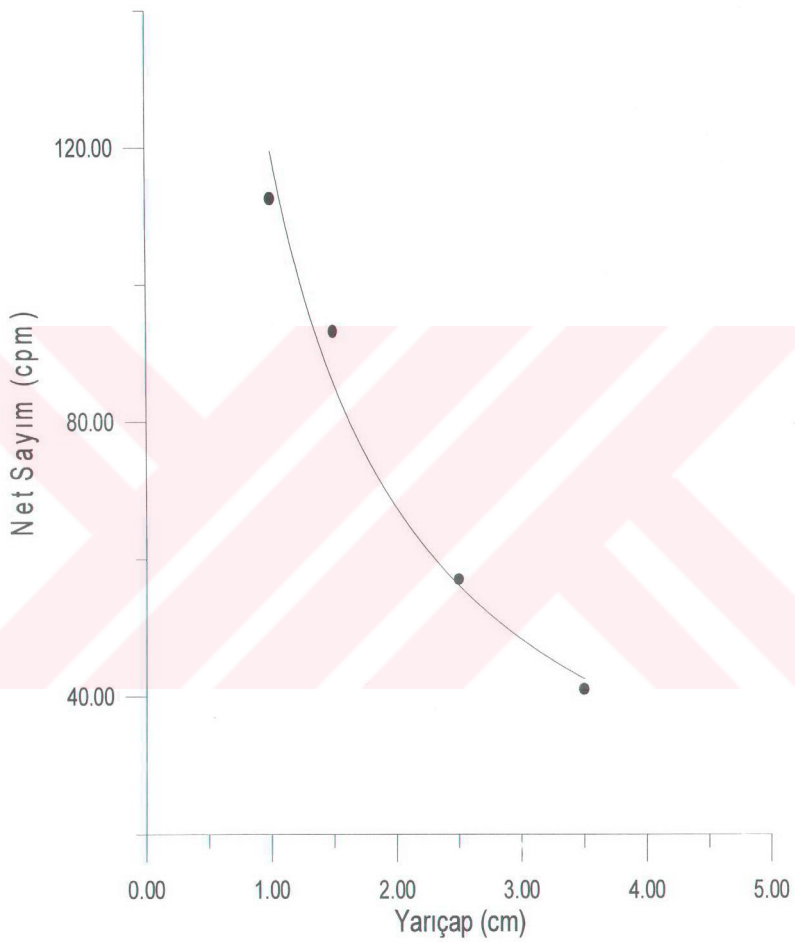
DENEY SONUÇLARI

Bu Yüksek Lisans tezi çerçevesinde incelenen serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin Bölüm 4 içinde detayı verildiği üzere radyoaktif izleyici kullanılarak deneysel olarak akış takibi yapılmıştır. Akış takibi, serbest girdap (vorteks) hareketine için akış hızı tayini ve akış görünürleştirilmesi bağlamında gerçekleştirilmiştir.

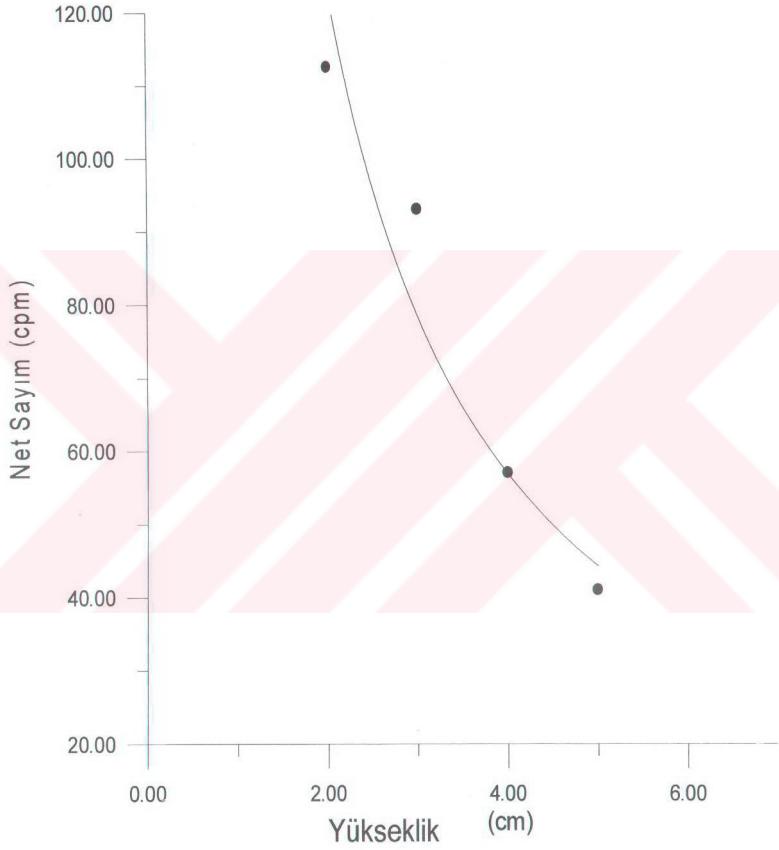
Deneysel çalışmalarla elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi için de varyasyonel çalışmalar yapılmıştır. Akış hızı tayini için karşılaştırmalı irdeleme yapılabilmesi için Bölüm 3 içinde detayı verilen matematik model çerçevesinde hesaplama yapılmıştır. Radyoaktif izleme tekniği ile akış görünürleştirilmesi için alternatif olarak ise boya tekniği ile çalışılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar ve karşılaştırmalı irdelenmeleri. aşağıdaki bölümler içinde ayrı ayrı verilmektedir.

5.1. AKIŞ HIZI TAYİNİNE İLİŞKİN ELDE EDİLEN DENEYSEL SONUÇLAR

Radyoaktif izleme tekniği ile Bölüm 4 içinde detayı verildiği üzere elde edilen deney sonuçları Tablo 5.1’de görülmektedir. Tablo 5.1’den hareketle deney sonuçlarına ilişkin çizilen grafikler, yarıçapa ve (su dibinden itibaren) yüksekliğe göre sırasıyla Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de görülmektedir.



Şekil 5.1 Yarıçapa Göre Deney Sonuçları



Şekil 5.2 Yüksekliğe Göre Deney Sonuçları

Tablo 5.1

Radyoaktif İzleme Tekniği İle Ulaşılan Deney Sonuçları

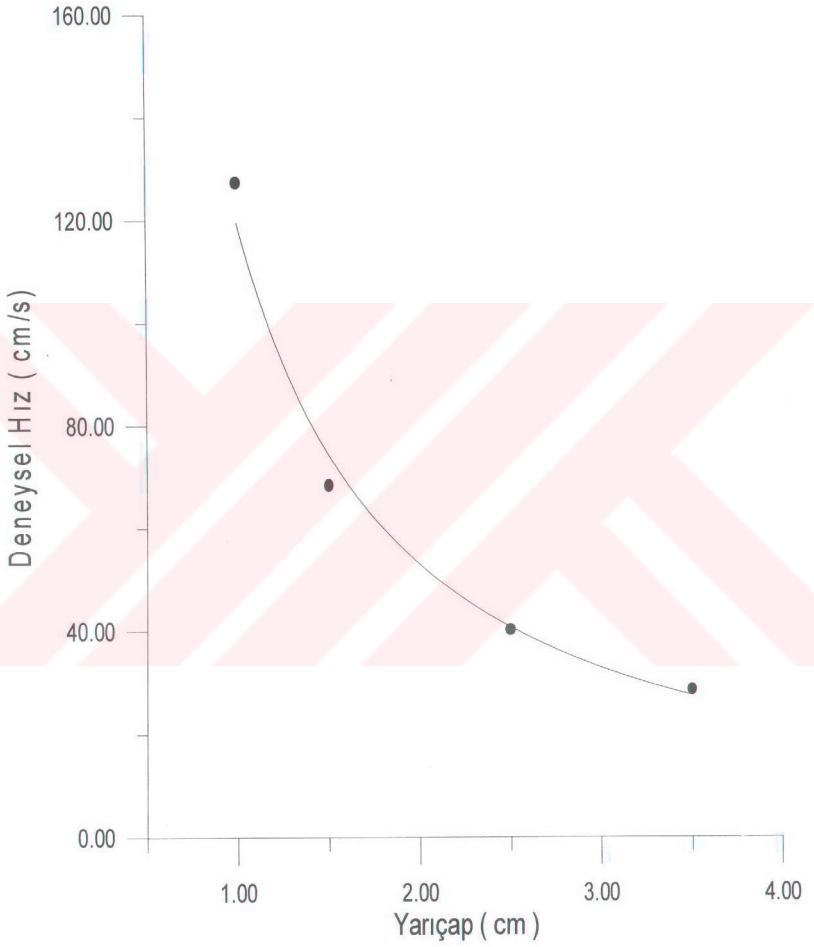
Yarıçap (cm)	Yükseklik (cm)	Alınan Örneğin Sayımı (cpm)
3,5	5	40,98 ± 5,57
2,5	4	57,00 ± 4,54
1,5	3	93,12 ± 7,38
1	2	112,50 ± 1,73

Örnek sayımlarından hareketle, Bölüm 2 de verilen Denklem 2.4 kullanılarak deneysel akış hızı tayini yapılmıştır. Deneyimiz için bilinen şartlarda yapılan bir deney ile tesbit edilen ve Denklem 2.4'te yer alan kalibrasyon faktörü 10 olarak bulunmuştur. Tablo 5.1'de verilen deney sonuçlarından hareketle Denklem 2.4 çerçevesinde hesaplanan akış hızları Tablo 5.2'de verilmektedir. Tablo 5.2'den hareketle ulaşılan deneysel akış hızları yarıçapa ve (su dibinden itibaren) yüksekliğe göre sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de görülmektedir.

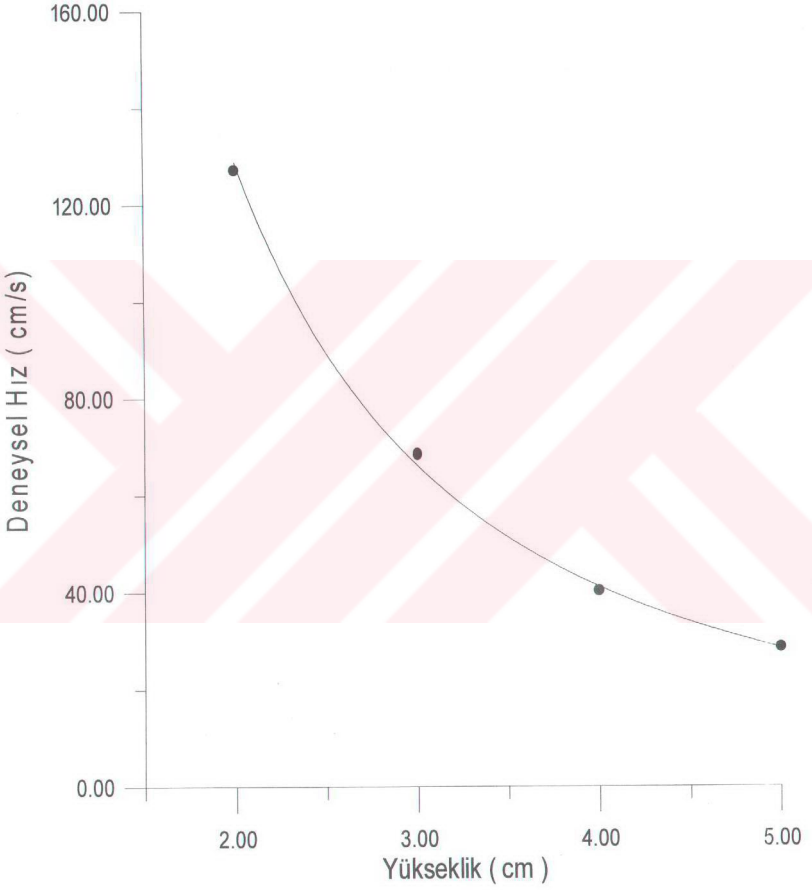
Tablo 5.2

Radyoaktif İzleme Tekniği İle Ulaşılan Deneysel Akış Hızları

Yarıçap (cm)	Yükseklik (cm)	Ulaşılan Deneysel Akış Hızı (cm/s)
3,5	5	28,497
2,5	4	40,156
1,5	3	68,278
1	2	127,161



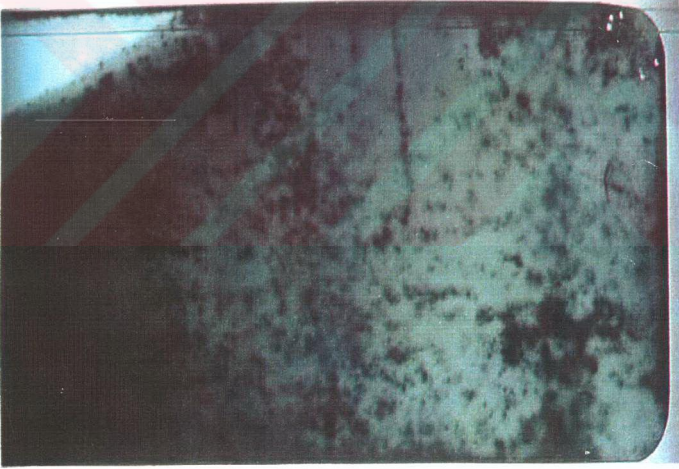
Şekil 5.3 Deneysel Olarak Tayin Edilen Yarıçapa Göre Akış Hızları



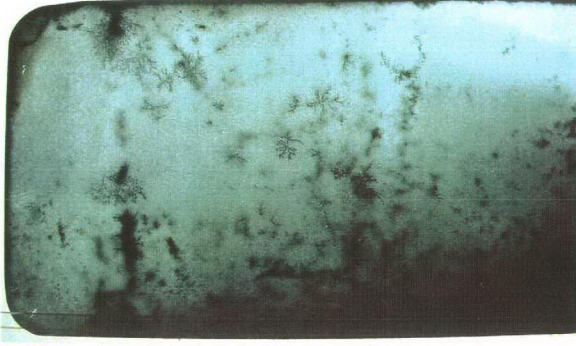
Şekil 5.4 Deneysel Olarak Tayin Edilen Yüksekliğe Göre Akış Hızları

5.2. AKIŞ HIZI GÖRÜNÜRLEŞTİRİLMESİNE İLİŞKİN ELDE EDİLEN DENEYSEL SONUÇLAR

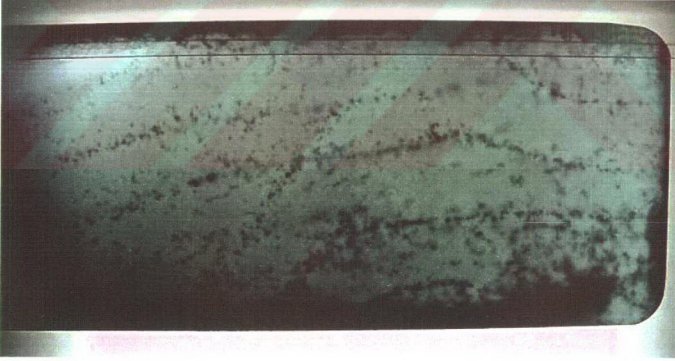
Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin olarak akış görünürleştirme çalışmaları Bölüm 4 içinde detayı verildiği üzere gerçekleştirilmiştir. Elde edilen radyograf görüntüleri Şekil 5.5 - Şekil 5.7'de görülmektedir. İlk iki radyograf, 25 normal radyoaktif izleyici kullanılarak ve 5.5 saat poz süresi verilerek elde edilmiştir. Radyograflarda vorteks kuru ve eksenli rahatça görülebilmektedir. Bu durum, literatürdeki diğer metodlarla alınan sonuçlarla kıyaslandığında uyum içerisindedir (**Merzkirch, 1974 ve Takeda ve Kobayashi, 1991**). Son görüntü ise, 10 normal radyoaktif izleyici eriyik kullanılarak ve 3 saat poz süresi verilerek elde edilmiştir.



Şekil 5.5. Serbest Girdap (Vorteks) Hareketine İlişkin Radyoaktif İzleme Tekniği İle Otoradyografi Çerçevesinde Elde Edilen Bir Görüntü



Şekil 5.6. Serbest Girdap (Vorteks) Hareketine İlişkin Radyoaktif İzleme Tekniği İle Otoradyografi Çerçevesinde Elde Edilen Bir Görüntü



Şekil 5.7. Serbest Girdap (Vorteks) Hareketine İlişkin Radyoaktif İzleme Tekniği İle Otoradyografi Çerçevesinde Elde Edilen Bir Görüntü

5.3. DENEY SONUÇLARININ MUKAYESELİ DEĞERLENDİRMESİ

Deneyle serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin olarak elde edilen sonuçlar, hem akış hızı sonuçları ve hem de akış görünürleştirilmesi karşılaştırmalı olarak bu bölüm içinde irdelenmektedir.

5.3.1. Akış Hızı Tayinine İlişkin Ulaşılan Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

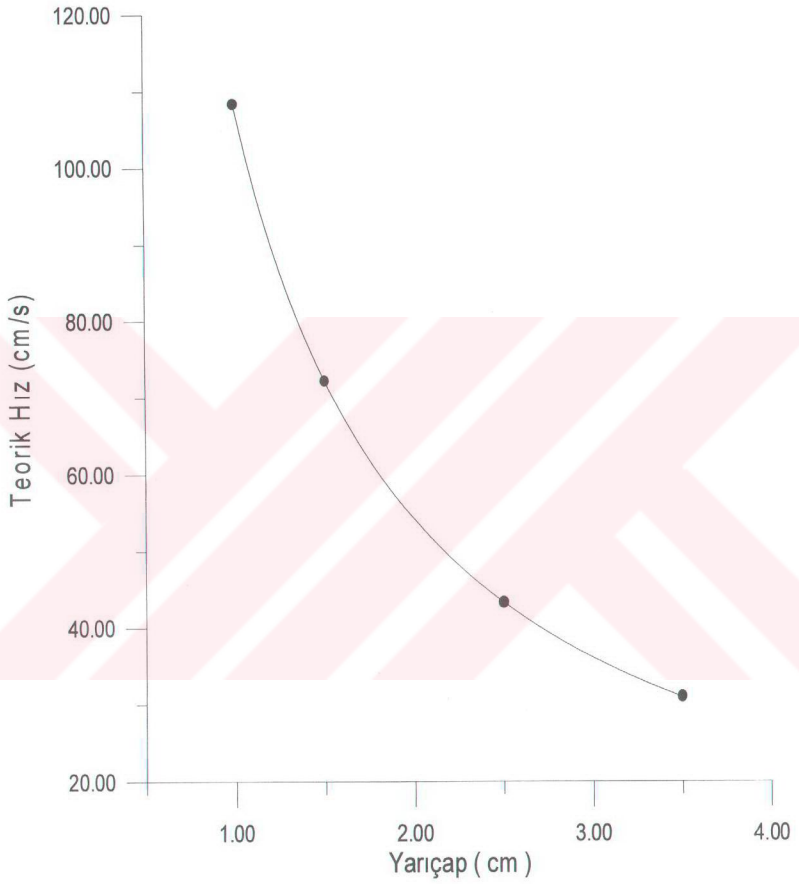
Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin olarak deneysel olarak ulaşılan akış hızı değerlerinin sınanması amacıyla Bölüm 2 içinde detayı verildiği üzere serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin olarak teorik hesaplama yapılması yoluna gidilmiştir.

5.3.1.1. Akış Hızı Tayinine İlişkin Yapılan Teorik Hesaplama

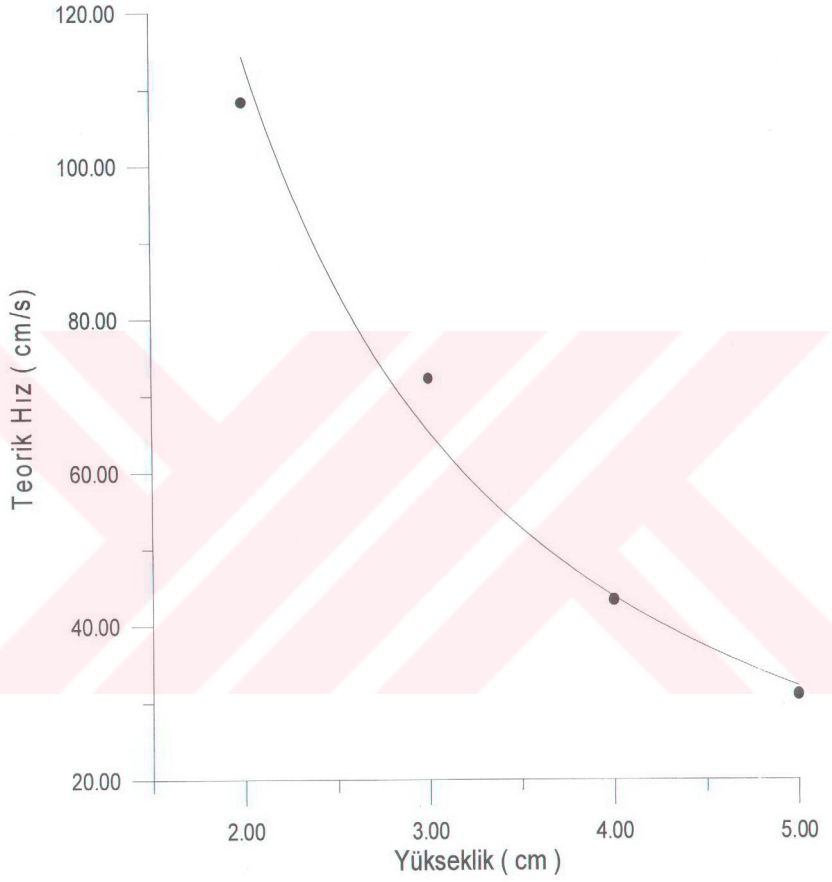
Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin olarak Denklem 3.4 çerçevesinde teorik hesaplama yapılmıştır. Yapılan hesaplama sonucunda, serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin olarak hesaplanan akış hızları Tablo 5.3'de verilmektedir. Tablo 5.3'den hareketle teorik olarak hesaplanan akış hızları yarıçapa ve (su dibinden itibaren) yüksekliğe göre sırasıyla Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da görülmektedir.

Tablo 5.3
Teorik Olarak Hesaplanan Akış Hızı Sonuçları

Yarıçap (cm)	Yükseklik (cm)	Hesaplanan Teorik Akış Hızı (cm/s)
3,5	5	30,94
2,5	4	43,31
1,5	3	72,18
1	2	108,27



Şekil 5.8 Teorik Olarak Tayin Edilen Yarıçapa Göre Akış Hızları



Şekil 5.9 Teorik Olarak Tayin Edilen Yüksekliğe Göre Akış Hızları

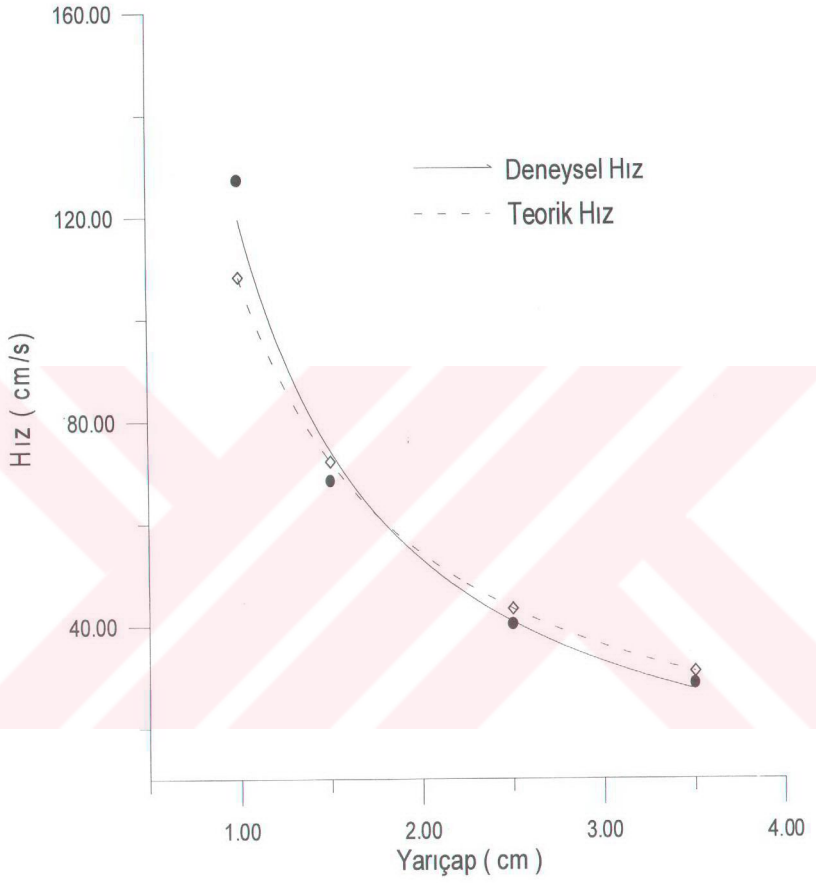
5.3.1.2. Deneyssel ve Teorik Akış Hızı Tayinine İlişkin Yapılan Çalışmaların Mukayesesi

Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin olarak Bölüm 5.1 içinde ulaşılan deneyssel sonuçlar ile Bölüm 5.3.1.1 içinde verilen teorik akış hızı sonuçları mukayeseli olarak Tablo 5.4’de görülmektedir.

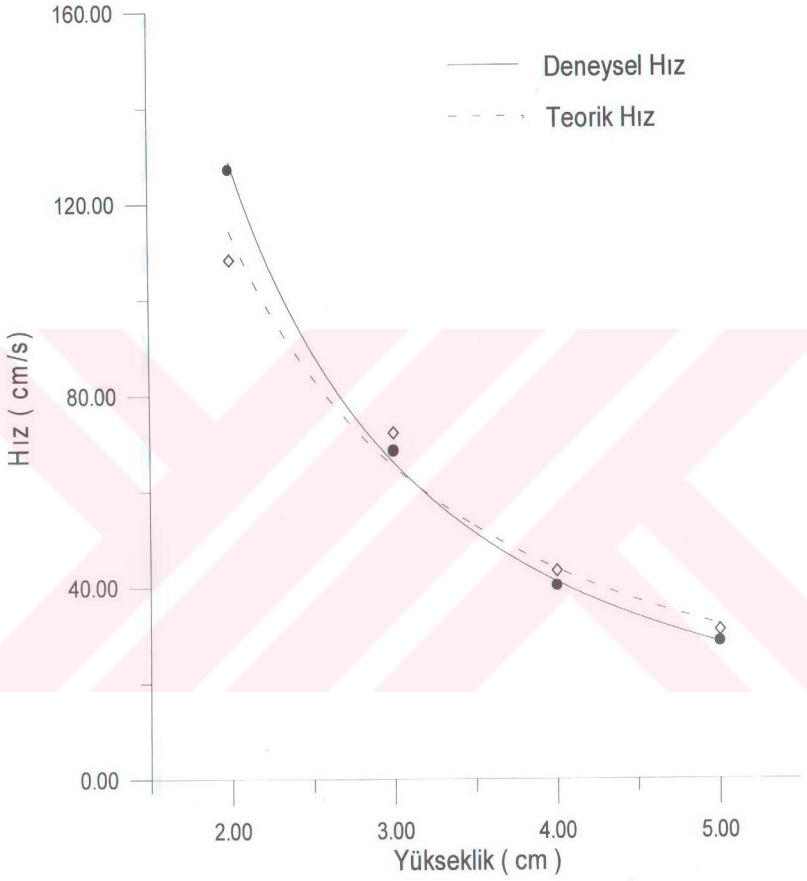
Tablo 5.4
Deneyssel Olarak Ulaşılan Akış Hızları İle Teorik Olarak Hesaplanan
Akış Hızı Sonuçlarının Mukayesesi

Yarıçap (cm)	Yükseklik (cm)	Ulaşılan Deneyssel Akış Hızı (cm/s)	Hesaplanan Teorik Akış Hızı (cm/s)	Bağıl Hata Oranı
3,5	5	28,497	30,94	0,0789
2,5	4	40,156	43,31	0,0728
1,5	3	68,228	72,18	0,0541
1	2	127,161	108,27	-0,1745
Ortalama Bağıl Hata				0,0078

Tablo 5.4’den hareketle serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin olarak bulunan deneyssel ve teorik akış hızları, yarıçapa ve (su dibinden itibaren) yüksekliğe göre sırasıyla Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de görülmektedir.



Şekil 5.10 Deneysel Olarak Ulaşılan ve Teorik Olarak Hesaplanan Yarıçapa Göre Akış Hızları



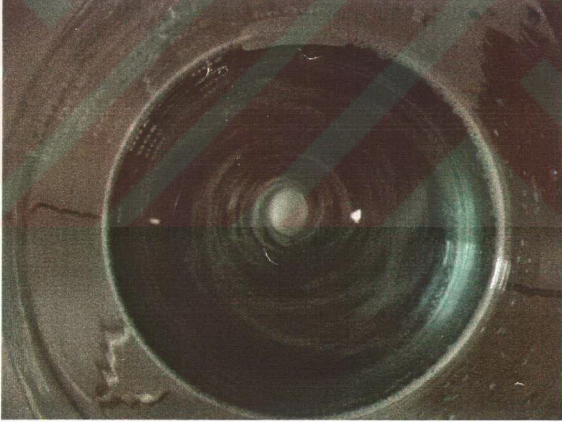
Şekil 5.11 Deneysel Olarak Ulaşılan ve Teorik Olarak Hesaplanan Yüksekliğe Göre Akış Hızları

5.3.2. Akış Hızı Görünürleştirilmesine İlişkin Sonuçların Değerlendirilmesi

Akış hızı görünürleştirilmesine ilişkin olarak bir farklı izleyici kullanılması yoluna gidilmiştir.

5.3.2.1. Boya İzleyici İle Akış Görünürleştirilmesi Deney Sonuçları

Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin olarak akış görünürleştirilmesi çerçevesinde bir farklı izleyici olarak boya izleyici kullanılarak Bölüm 4 içinde detayı verildiği üzere titizlikle çalışılmıştır. Boya izleyici ile elde edilen üstten akış görünürleştirme sonucu görüntü Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12 Boya İzleyici İle Elde Edilen Üstten Akış Görünürleştirme Sonucu Görüntü

5.3.2.2. Radyoaktif ve Boya İzleyici İle Akış Görünürleştirilmesi Deney Sonuçlarının Mukayesesi

Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin olarak akış görünürleştirilmesine ilişkin olarak bir farklı izleyici kullanılarak elde edilen görünürleştirme görüntüleri farklı yönlerden alınabilmektedir. Kullanılan izleyicilerin özelliklerine bağlı olarak başarılı görüntüler, radyoaktif izleyici olarak eksenel olarak (yandan), boya izleyici için radyal olarak (üstten) elde edilebilmiştir.

Ancak, her iki izleyici ile elde edilen görünürleştirme görüntüleri birbirlerini tamamlayıcı ve teyid eder mahiyettedir. Fazla olarak, her iki görünürleştirme görüntüsü, serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin olarak elde edilmesi beklenen görünürleştirilme görüntüleri mahiyetindedir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE TARTIŞMA

Hidrolojinin önemli bir konusunu girdap hareketleri oluşturmaktadır. Farklı biçimleriyle tanımlanmış olan girdap hareketleri içinde serbest girdap (vorteks) hareketi ayrı bir yere sahip bulunmaktadır. Üzerinde hayli çalışılmış olan bu konuya farklı bir yönden yaklaşılması düşünülmüştür. Bu bağlamda, akış incelemelerinde öncelikle tayin edilmek istenen akış hızı tayini bu çalışma için de önde gelen hedef olmuştur.

Öte yandan, oluşum hızı ve kompleksliği nedeniyle serbest girdap (vorteks) hareketinin görünürleştirilmesi de ayrı bir öneme sahiptir. Bu bakımdan bu çalışma içinde serbest girdap (vorteks) hareketinin görünürleştirilmesi de hedeflenen konular arasında yer almıştır.

Serbest girdap (vorteks) hareketi ile yapılmış çalışmalar hayli fazla olmakla birlikte bu konuda deneysel olarak yapılan çalışmalar nispeten limitlidir. Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında serbest girdap (vorteks) hareketiyle ilgili akış takibi çalışmaları, ileri bir nükleer teknik olan radyoaktif izleme tekniği ile gerçekleştirilmiştir.

Serbest girdap (vorteks) hareketinin oluşturulması ve çalışılacak radyoaktif izleyici tekniğine uygunluğu, yapılması düşünülen çalışma için bir ilk sorunu oluşturmaktaydı. Bu husus manyetik karıştırıcı kullanılarak çözülmüştür. Böylelikle hem serbest girdap (vorteks) hareketinin oluşturulması sırasında sisteme su yüzeyinden müdahale olmamış, bir başka deyişle hareketin takibi kolaylaşmış, hem de radyoaktif madde ile çalışılıyor olmaktan dolayı kontaminasyon sorunu makul ölçülerde tutulabilmiştir.

Radyoaktif izleme tekniği ile uygulama sonucunda serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış hızı tayini yapılabilmektedir. Deneysel olarak ulaşılan serbest girdap (vorteks) hareketi akış hızları beklenti doğrultusunda elde edilmiştir (Tablo 5.2). Bu bağlamda serbest girdap (vorteks) hareketinin yaratıldığı kap içinde yarıçapa ve yüksekliğe bağlı olarak ulaşılan değerler, olması gereken yönde değerler olarak elde edilmiştir (Şekil 5.3 ve 5.4).

Radyoaktif izleme tekniği ile deneysel olarak ulaşılan serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış hızı değerlerinin sınanması amacıyla hesaplama yapılmış ve serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin teorik akış hızı değerleri bulunmuştur (Tabl o5.3). Teorik hesaplama ile elde edilen değerlerle radyoaktif izleme tekniği kullanılarak ulaşılan deneysel akış hızı değerlerinin aynı karakterde olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.8 ve 5.9).

Bu değerler birbirleriyle ileri derece uyumluluk arz etmektedirler (Şekil 5.11). Yapılan hata hesabıyla, mutlak bağıl hatanın maksimum % 18 ' in altında olduğu görölmüştür. Fazla olarak , ortalama bağıl hatanın ise %5 'in altında olduğu saptanmıştır. Bu durum, deney ile teorinin ileri derece uyumlu olduğunun en iyi göstergesi durumundadır.

Serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış takibi incelemesi içinde, akış görünürleştirilmesi çalışması da gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede otoradyografi felsefesi içinde serbest girdap (vorteks) hareketine verilmiş olan radyoaktif izleyicinin radyografi filmi üzerine görüntüsünün alınması yoluna gidilmiş ve bu konuda başarılı olunmuştur (Şekil 5.5, 5.6 ve 5.7).

Akış görünürleştirilmesi için bununla yetinilmeyip, boya izleyici kullanılması yoluna da gidilmiştir. Bu şekilde yapılan deneysel çalışmalardan da başarılı görüntüler alınabilmektedir. Her iki izleyici ile ulaşılan serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış görünürleştirilmesi çalışmalarının sonuçları, beklenti doğrultusunda ve tatminkardır.

Bu Yüksek Lisans Tez çalışması ile radyoaktif izleme tekniği ile serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin akış takibi çerçevesinde akış hızı tayini ve akış görünürleştirilmesi çalışmalarının öncelikle uygulanabilirliği gösterilmiş olmaktadır. Literatürde, radyoaktif izleme tekniği ile serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu bakımdan çalışma kendi içerisinde bir özgünlük taşımaktadır.

Bundan ayrı olarak , radyoaktif izleme tekniği ile serbest girdap (vorteks) hareketine ilişkin deneysel olarak yapılan akış hızı tayininin %5 'in altında bir bağıl hata ile teorik hesaplamaya yakınsadığı görülmüştür. Bu husus ise, tekniğin serbest girdap hareketine ilişkin akış hızı tayinine tercih edilerek uygulanabilecek bir teknik olduğunu göstermesi bakımından ilginçtir.

Aynı şekilde akış görünürleştirilmesine yönelik olarak yapılan otoradyografi çalışması da bir ilk uygulama konumundadır. Bu anlamda bir özgünlük içermektedir.

Öz olarak belirtmek istersek, radyoaktif izleme tekniği ile serbest girdap hareketine ilişkin akış takibi bağlamında , akış hızı tayini ve akış görünürleştirilmesi çalışmaları özgünlük çerçevesinde deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda , tatminkar ve ileri sonuçlara ulaşılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Altınsoy, N., Tuğrul, A.B.**, 2000, " Flow Rate Determination for Open Channel by Using Radiotracer Balance Method " , I. Eurasia Conference on Nuclear Science and Its Application, 23-27 October 2000 İzmir-Turkey
- Douglas, J.F.**, 1986, Solving Problems in Fluid Mechanics, Essex
- Douglas, J.F., Gasiorek, J.M. ve Swaffield, J.A.**, 1995, Fluid Mechanics, Longman Engineering, United States of America
- Etherington, H.**, 1958, Nuclear Engineering Handbook, McGraw-Hill
- Evans, E.A., Muramatsu, M.**, 1977, Radiotracer Techniques and Applications, Marcell Decker Inc.
- Fox, R.**, 1985, Introduction to Fluid Mechanics, London
- Földiák, G.**, 1986, Industrial Application Of Radioisotopes, Institute of Isotopes of Hungarian Academy of Sciences, Budapest
- Gadner, R.P. ve Ely, R.L.**, 1967, Radioisotope Measurement Applications in IAEA, 1967, Radioisotope Tracer in Industry, Vienna
- IAEA**, 1975, Laboratory Manual on Use of Radiotracer Techniques in Industry and Environmental Pollution, Vienna
- IAEA**, 1983, Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, Vienna
- IAEA**, 1990, Guidebook On Radioisotope Tracers In Industry, Vienna
- Lawrence, J.H., Manowitz, B., ve Loeb, B.S.**, 1952, Radioisotopes and Radiation , Recent Advances in Medicine, Agriculture and Industry, New York
- Merck**, 1996, Reagents, Diagnostics Chemicals, Darmstadt
- Merzkirch, W.**, 1974, Flow Visualization, Academic Press, United States of America
- Nieuwstadt, F.T.M.**, 1993, Flow Visualization and Image Analysis , Boston
- Örs, H.**, 1999, Akışkanlar Mekaniği, Bogaziçi Üniversitesi, Yayın No 654, İstanbul
- Takeda, Y., Kobayashi, K.**, 1991, Ultrasonic Flow Visualization of Transient Behaviour of Taylor Vortex Flow, "*Experimental and Numerical Flow Visualization, ASME*", FED Vol. 128, pp. 231-237, Khaligi, B., Braun, M.J., Freitas, C.J., New York.

- Taylor, G.I.**, 1921, Diffusion by Continuous Movements, London
- Tuğrul, A.B. ve Kara, N.**, 1994, Determination of Flow Parameters for Pipe Flow by The Tracer Techniques, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Articles, Vol.180, No: 2, pp.245-253
- Tuğrul, A.B.**, 1985, Arkeometride Nükleer Tekniklerin Kullanımı, Arkeometri Ünitesi, Bilimsel Toplantı Bildirileri, TÜBİTAK , Ankara
- Tuğrul, A.B., Kara, N.**, 1994, Determination of Flow Parameters for Pipe Flow by The Tracer Techniques, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Articles, Vol.180, No: 2 , pp. 245-253
- Yang, W.J.**, 1989, Handbook of Flow Visualization, New York

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Zonguldak'ta doğdu. Orta öğrenimini takiben İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü'ne girdi ve 1996 ' da mezun oldu. 1997 yılında İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü - Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Öğrenimine başladı.

1996-1997 yıllarında bir özel kitabevinde şube sorumlusu olarak çalıştı. 1998- 2000 tarihlerinde İ.T.Ü. Deneme Bilim Merkezi'nde Teknik rehberlik görevini yürüttü. 2000 yılı Mart ayından temmuz ayına kadar İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü - Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı'nda yarı zamanlı öğrenci olarak çalıştı. Temmuz 2000 tarihinden itibaren yine aynı yerde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. İki ulusal bildirisi olup, 2 'si bildirili 4 bilimsel toplantıya katılmıştır. İngilizce bilmektedir.