

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Kimya Mühendisliği Bölümü



KMÜ308
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI 1 EL KİTABI
2025 – 2026

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
LABORATUVAR KURALLARI	1
RAPOR YAZIM KILAVUZU	2
2.1. Rapor Formatı	2
2.2. Rapor Bölümleri	3
2.3. Deney Sonuçlarının İstatistiki Olarak Verilmesi	6
LABORATUVAR GÜVENLİĞİ	14
3.1. Emniyetli Çalışma Kuralları	14
3.2. Genel Laboratuvar Kuralları	15
DENEYLER	20
4.1 Viskozite Tayini	21
4.2 Katı ve Sıvı Yakıtların Kalorifik Değerlerinin Belirlenmesi	25
4.3 Osborne Reynolds Deney Sistemi ile Akış Rejiminin İncelenmesi	29
4.4 Değişik Numunelerde Lineer Isı Transferinin İncelenmesi	37
4.5 Doğal ve Zorlanmış Isı Taşınımının İncelenmesi	44
4.6 Hava Akış Deney Sistemi ile Akış Profilinin İncelenmesi	50
4.7 Boru Hatlarında Sürtünme ve Enerji Kayıplarının İncelenmesi	70
4.8 Reaksiyon Hız İfadesinin Spektrometrik Yöntemle Elde Edilmesi	77
4.9 Kimyasal Reaksiyonun Aktivasyon Enerjisi Tayini Deneyi	92
4.10 Polimerizasyon Tekniklerinin İncelenmesi	97

LABORATUVAR KURALLARI

1. Laboratuvarlara katılabilmek ve deney yapabilmek için bu kitapçığın *Laboratuvar Güvenliği* bölümü dikkatlice okunmuş ve laboratuvarlarda çalışma kuralları öğrenilmiş olmalıdır.
2. Laboratuvarlara zamanında gelinmeli ve ilgili deney sisteminin başında hazır bulunulmalıdır. Geç gelen öğrencinin deneye katılımı ilgili öğretim üyesinin iznine bağlıdır.
3. Beyaz önlük giyilmesi ve gözlük takılması zorunludur. Önlüksüz ve gözlüksüz olarak kesinlikle deney yapılamaz.
4. İlgili araştırma görevlisinin veya öğretim üyesinin izni olmaksızın laboratuvar dışına çıkılamaz.
5. Laboratuvarlarda cep telefonu ile konuşulmaz.
6. Laboratuvarlarda yemek-içmek ve sakız çiğnemek hoş görülmeven ciddiyetsiz ve yakışksız davranışlardandır.
7. Deney sonrasında, masa, cihaz ve malzemeler temiz bırakılmalıdır.
8. Deneyden bir hafta önce, ilgili öğretim üyesi deney föyünde yer alan *Deney Hazırlık / Tasarım Sorularına* hazırlanarak laboratuvara gelinmelidir.
9. *Deney verileri*, deney esnasında cihaz ve sitemlerden alınmış olan her türlü, okuma, ölçüm ve tartımlardır. Deney verileri her öğrencinin TEMİZ BİR KAĞIDA kendi el yazısı ile yazılmalıdır.
10. *Deney raporu*, istenen formata uygun olarak deneye giren tüm öğrencilerin bireysel hazırlanması gereken kapsamlı bir dokümandır. Hangi grupların hangi deney için rapor hazırlamak zorunda oldukları laboratuvar dönem planında belirtilir.
11. Grup, ilgili öğretim üyesi tarafından deney öncesinde giriş sınavına alınır.
12. Deney raporları *özgün* olmak zorundadır. Raporun (küçük bir parçası dahi olsa) başka bir yerden kopyalandığı tespit edildiği takdirde notu sıfır olarak değerlendirilir ve telafisi yoktur. Başkasına ait bir materyalin kopyalanması büyük bir suçtur. Herhangi bir kopyalama olayının, raporu değerlendiren öğretim üyesinin gözünden kaçma olasılığına karşı, dönem sonunda Bölüm Etik Kurulu tarafından rastgele seçilecek raporlar üzerinde ayrıntılı inceleme yapılacaktır. Bu inceleme sonunda kopyalama yapıldığı tespit edilirse grup önceki notlarına bakılmaksızın deneyden başarısız sayılacaktır. Bu durumda ilgili deneyin/raporun telafisi mümkün değildir.
13. Deney raporunda web sayfaları kaynak olarak gösterilemez ve bu sayfalara atıf yapılamaz.
14. Deney raporu yetersiz görülürse tekrar edilmesi ve/veya deneyin tekrarı istenebilir.
15. *Yarıyıl sonu notu*, 1. Arasınava notunun %40'si, 2. Arasınava notunun %30'si ve final notunun %30'si alınarak belirlenir. 1. Arasınava notunu giriş sınavı, rapor notu ve varsa çıkış sınavı notlarının ortalaması belirler.
16. Laboratuvara devam zorunludur. Habersiz ve onaysız olarak deneye gelmeyen öğrenciler deneyden başarısız sayılırlar. Bu durumda deneyin telafisi söz konusu değildir. Başka bir nedenle deneyden başarısız olan öğrenciler ilgili öğretim üyesi onay verdiği takdirde deneyi telafi edebilirler.
17. Telafi haftasında veya öğretim üyesinin uygun gördüğü başka bir zamanda en fazla iki deneyin telafisi yapılabilir.

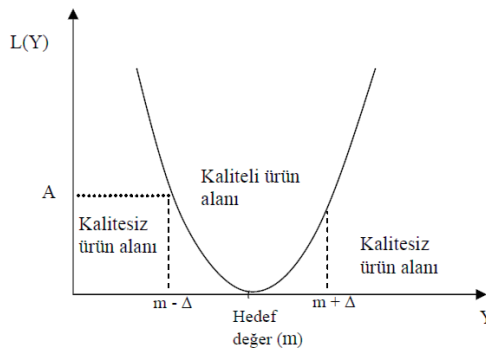
RAPOR YAZIM KILAVUZU

2.1. Rapor Formatı

- Deney raporları bireysel olarak elle yazılarak hazırlanır.
- A4 ebadında standart beyaz kağıt kullanılır ve kağıdın yalnızca bir yüzüne yazılır.
- Sayfanın sol kenarından 3,5 cm, diğer kenarlardan 2,5 cm boşluk bırakılır.
- Rapor metni 1,5 satır aralığında ve sayfanın her iki yanına göre hizalanmış olarak yazılır.
- Şekil ve çizelgelerin başlıkları ile kaynak listesi 1 satır aralığında olmalıdır.
- Şekil ve çizelgeler yataya göre sayfa ortasına yerleştirilir. Bir sayfadan daha küçük boyuttaki şekil ve çizelgeler dikeye göre sayfanın ya en üstüne ya da en altına gelecek şekilde ve rapor metni ile 2 satır ara verilerek yerleştirilir.
- Alt ve üst indislerin yazımında düz yazı büyüklüğünden daha küçük bir karakter kullanılır.
- Noktalama işaretlerinden sonra bir vuruşluk boşluk verilir.
- Bölümlerin yazımına yeni bir sayfadan başlanır. Alt bölümler ise, alt bölüm başlığı dışında en az 2 satır aynı sayfada yer almak şartıyla aynı sayfadan devam edilir.
- Ana başlıklar büyük harflerle koyu ve sola dayalı olarak yazılır ve metne başlamadan önce “iki ara” verilir.
- Alt başlıklar önceki metinden “bir ara” ile ayrılır ve her kelimenin ilk harfi büyük diğerleri küçük olacak şekilde sola dayalı olarak koyu yazılır.
- Giriş bölümüne kadar olan ön sayfalar i, ii, iii şeklinde küçük harf Romen rakamı ile diğer sayfalar “1, 2, 3” şeklinde numaralandırılır. Sayfa numaraları 10 punto ile sayfanın en alt kısmında ve ortalı olacak şekilde yazılır. Sayfa numaralarının önünde ve arka yanında ayıraç, çizgi vb. gibi karakterler kullanılmaz.
- Paragraf başları yazım alanından 1 cm içerden başlamalıdır.
- İçindekiler sayfası bu kılavuzun başındaki gibi düzenlenir.
- Şekil ve çizelge tüm rapor boyunca tek sıra takip edecek şekilde numaralandırılır, her bölüm için ayrı alt numaralar kullanılmaz.
- Aşağıda şekil ve çizelgeler için birer örnek gösterilmiştir.

Çizelge 1. Portland çimentosu ana bileşenleri (Duda 1985)

Mineral faz	Kimyasal formül	Sembol
Trikalsiyum silikat (alit)	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C3S
Dikalsiyum silikat (belit)	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C2S
Trikalsiyum alüminat (celit)	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C3A
Tetra kalsiyum alüminoferrit (felit)	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C4AF



Şekil 1. Taguchi'nin kayıp fonksiyonu (Ross 1989)

2.2. Rapor Bölümleri

Deney raporları aşağıdaki bölümlerden oluşur.

Kapak

Örnek kapak bölüm sonunda verilmiştir.

Özet

Özet deneyin değil raporun özetidir. Özet'te yapılan deneyin amacı ve bu doğrultuda ne tür bir sistemin kullanıldığı, uygulanan yöntemin dayandığı temel prensipler kısaca belirtilir. Deneyin koşulları kısaca tanımlanır ve gerekiyorsa bulunan sayısal sonuçlar da (fazla ayrıntıya girmeden) verilebilir. Raporda nelerin bulunduğu kısaca belirtilerek varsa çarpıcı yorumlar da Özet'e eklenebilir. Sonuçların anlamı ve duyarlılığı yorumlanır. Özet'te kaynak, tablo vb. verilmez ve toplam uzunluk 100 - 150 kelimayı aşmamalıdır.

İçindekiler

Raporu oluşturan bölüm, kısım ve alt kısım başlıkları sayfa numaraları ile birlikte verilir.

1. Giriş

Bu bölümün başlığı Giriş olabileceği gibi konuya ilişkin genel bir başlık da tercih edilebilir. Bu bölümde konu ile ilgili genel bir bilgi verildikten sonra deneyin amacı çok açık ve ayrıntılı bir şekilde belirtilir.

2. Kuramsal Temeller

Bu bölümün başlığı Kuramsal Temeller olabileceği gibi konuya ilişkin özel bir başlık da tercih edilebilir. Gerçekleştirilen deneyin dayandığı kuramlar kısaca anlatılır, önemli eşitlik ve bağıntılar ilgili kaynaklara atıf yapılarak verilir.

3. Deneyisel Yöntem

3.1 Deney Sistemi

Kullanılan deney sistemi ayrıntılı olarak tanıtılır, sistemin şematik çizimi ve gerekiyorsa başka çizimler de bu bölüme eklenerek okuyucunun deney sistemi hakkında bilgilenmesi sağlanır. Herhangi bir şekil veya çizelge verilmişse metin içinde bunlara mutlaka atıf yapılmalı ve atıflar şekil veya çizelgeden önceki metin kısmında olmalıdır. Okuyucu ne olduğu ve ne amaçla raporda bulunduğu belli olmayan bir şekil veya çizelge ile karşılaşmamalı raporu okurken önüne gelen şekil veya çizelge hakkında önceden bilgilendirilmelidir. Şekiller, şeklin altında ve çizelgeler, çizelgenin üstünde olmak üzere sırasıyla numaralandırılmalı ve açık tanıtıcı başlıkları bulunmalıdır.

4. Hesaplama ve Sonuçlar

Yapılan deney tüm koşullarıyla tanımlanır. Deney verileri çizelge ve/veya şekiller halinde sunulur. Deney verilerinin kullanılmasıyla varılacak olan sonuçların nasıl hesaplandığı Kuramsal Temeller bölümündeki eşitlik ve bağıntılara atıf yapılarak birer örnekle gösterilir. Her deney verisi için yapılan benzer hesaplamalar tekrar tekrar yazılarak rapor doldurulmasına çalışılmaz. Grup üyeleri, yaratıcılık, özen, zerafet ve becerilerini ortaya koyarak hesaplama sonuçlarını kolay anlaşılabilir çizelgeler ve grafikler halinde sunmalıdırlar.

Yukarıda da söz edildiği gibi çizelge ve grafikler sırasıyla numaralandırılmalı ve metin içinde atıf yapılmayan, metnin hiç bir yerinde söz edilmeyen çizelge veya grafik raporda bulunmamalıdır.

5. Tartışma ve Yorum

Deney koşulları ve verilerine dayanarak bulgular ve sonuçlar detaylı olarak ve gerektiğinde kaynaklara atıf yapılarak tartışılır. Sonuçların anlamı ve mümkünse hassasiyet, doğruluk ve tekrarlanabilirlik ölçüleri verilir. Deneyin gerçekleştirilmesi esnasında ortaya çıkan aksaklıklar ve zorluklar, bunların sonuçlara ne ölçüde, nasıl yansıdığı ve deneyin amaçlarına ne ölçüde ulaşıldığı tartışılarak gerekiyorsa iyileştirme önerileri yapılır.

Kaynaklar

Rapor yazımında yararlanılan tüm kaynaklar ilgili numaraları ile aşağıda örneklerle gösterilen kurallara uygun olarak yazılır. Bu kaynaklara rapor içinde ilgili yerde cümle sonundaki noktadan önce *köşeli parantez içinde kaynak numarası* ile mutlaka atıf yapılmalı, raporun herhangi bir bölümünde atıf yapılmamış kaynaklar bu listede bulunmamalıdır.

Makale

[1] G. S. Beavers, D. D. Joseph, H. H. Al-Ali, *Flow of homogeneous fluids through porous media*, **J. Fluid Mechanics**, 18:537-553 (2000).

Kitap

[2] J. O. Hirschfelder, C. F. Curtiss, R. B. Bird, **Molecular Theory of Gases and Liquids**, Wiley, New York (1964), p.534.

Not: Çeviri kitaplarda orijinal kitabın değil çeviri kitabın yayın tarihi esas alınır.

Basılmış Tez

[3] A. Bayramoğlu, “**Konveksiyonla ısı aktarımındaki kısıtlayıcı basamaklar**”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, (2001).

Kongre Bildirisi

[4] Durcan B., Ersen Ç.S., Karacan M. ve Tahsin A., *Variation of Chemical Species Profile in a Plug Flow Reactor*, **1st International Reaction Congress**, Mersin, 12-22 May (2011).

Rapor

[5] Osman, A. ve Tertemiz, A., “Barajlarımızdaki taşma tehlikeleri”, **DSİ Yıllık Dönem Raporu, Ankara**, 23-32, (2011).

Ekler

Raporun birinci Ek'i (Ek A) deney verileridir. Varsa rapor ana metni içine girmeyen ancak onu destekleyici özellikte olan diğer ek bilgiler, hesaplamalar, denklem çıkarımları vb., Ek-B, Ek-C şeklinde isimlendirilerek verilebilir. Tüm eklere rapor metni içinde MUTLAKA atıf yapılmış olmalıdır.

Kaynaklar:

1. Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvar El Kitabı, 255 s., 2013.

2.3.Deney Sonuçlarının İstatistiki Olarak Verilmesi

Ölçme:

Bir fiziksel niceliğin önceden saptanmış bir standarda göre sayısal değerinin verilmesi işlemine **ölçüm** denir. Önceden saptanmış bu standarda da birim adı verilir.

Bir ölçümün duyarlılığı, ölçümü ifade eden rakam sayısı ile belirlenir. Yapılan bir ölçümü belirlemede kullanılan rakamlara **anlamli rakamlar** denir.

Ölçme yaparken üzerinde önemle durulması gereken iki kavram vardır; **doğruluk** ve **duyarlılık**.

Doğruluk: fiziksel bir niceliğin bir ölçümünün gerçek değere ne kadar yakın olduğunu gösterir.

Duyarlılık: aynı büyüklüğün ölçülmesinden elde edilen iki değer birbirine ne kadar yakın olduğunu gösterir.

Anlamli sayılar:

Ondalıklı sayılarda virgölün yerini belirtmek için kullanılan sıfırlar anlamli değildir. Örneğin, 0,042 m olarak verilen bir ölçüm sonucunda anlamli rakam sayısı 2' dir.

Ölçüm sonucunun bir parçası olan sıfırlar anlamlidir. Örneğin, 0,0050306 sayısının anlamli rakam sayısı 5' tir. 4000 sayısı gibi sıfırlar içeren bir sayının anlamli rakam sayısını bulmak için bilimsel gösterim kullanmak daha uygundur.

$$4000 = 4 \times 10^3 \text{ (anlamli rakam sayısı} = 1)$$

$$4100 = 4,1 \times 10^3 \text{ (anlamli rakam sayısı} = 2)$$

$$4340 = 4,34 \times 10^3 \text{ (anlamli rakam sayısı} = 3)$$

Bir ölçümün sonucu, istenilen anlamli rakam sayısından daha fazla sayıda rakam içeriyorsa,

Kural 1: Terk edilen ilk anlamsız rakam 5' ten küçük ise korunan son rakam olduğu gibi kalır, değilse 1 artırılır:

$$1,2446 \rightarrow 1,24$$

Kural 2: Terk edilen ilk anlamsız rakam 5 ve korunan son anlamli rakam tek ise son anlamli rakam 1 artırılır:

$$87,35 \rightarrow 87,4$$

Kural 3: Terk edilen ilk anlamsız rakam 5 ve korunan son anlamli rakam çift ise, değiştirilmez:

$$76,254 \rightarrow 76,2$$

Anlamli sayılarda Çarpma ve Bölme İşlemi

Sonucun anlamli rakam sayısı, en az anlamli rakama sahip olan sayının anlamli rakam sayısı ile belirlenir.

$$\frac{0,745 \times 2,2}{3,885} = 0,42187021... \rightarrow \text{iki anlamli rakamla verilmelidir } 0,42$$

Anlamli sayılarda Toplama ve Çıkarma İşlemi

Sonuç en az ondalık basamağa sahip sayıya göre belirlenir.

27,153 +138,2 -11,74 = 153,613 → sonuç tek ondalık basamak içermeli→153,6

Ölçüm Sonuçlarının Verilmesi:

Ölçümler sonucunda elde edilen sayısal değerler, ancak ölçüm hataları ile birlikte verildiğinde anlamlı olur. Herhangi bir fiziksel x niceliğinin (uzunluk, zaman, gerilim, elektrik akımı, vb) değeri için x_1 ölçümü yapılırsın. x_1 ölçümünün sonucu, x niceliğinin değerini belli bir yaklaşıklıkla verecektir. İkinci bir x_2 ölçümü yaparsak, bunun sonucunun x_1 ölçümünün sonucundan biraz farklılaştığını görürüz. Diğer bir deyişle, x niceliği için çok sayıda ölçüm alırsak her bir ölçüm için farklı değer elde ederiz. Buna göre x niceliğinin değeri için, ölçüm sonuçlarının nasıl bir dağılım gösterdiğine ve en çok hangi değer etrafında toplandığına bakmak gerekecektir.

Ölçüm sonuçlarının şu şekil verilmesi uygundur:

Ölçülen Değer = En iyi tahmin (Ortalama değer)± Hata

Ölçümdeki Hatalar:

Hiçbir fiziksel ölçüm hatasız değildir. Hatadan kasıt “yanlış” ya da “kusur” değil, “belirsizliktir”.

Ölçümümüz, kullandığımız ölçü aletinin duyarlılığı, izlenilen deneysel yöntem ve deneyi yapan kişinin dikkat ve becerisine bağlı olarak belli bir hata sınırı içerisinde.

Ölçüm hataları: sistematik hatalar ve istatistiksel hatalar (Rastgele) olmak üzere iki kısma ayrılır.

Sistematik hatalar: Bu tip hatalar, kullanılan ölçü aletlerinden, kişisel yetersizliklerden, deneyde izlenilen metottan ve dış etkilere kaynaklanır. Bu tip hatalar, sonucu hep tek yönde etkiler. Sistematik hataları, deney yöntemini değiştirerek, daha hassas ölçü aletleri kullanarak ya da deney sonunda gerekli düzeltmeleri yaparak ortadan kaldırabiliriz.

İstatistiksel hatalar (Rastgele): Ölçme duyarlılığının doğal olarak sınırlı oluşundan kaynaklanan hatalardır. Bu hatalar sonucu çift yönlü etkiler. Daha fazla sayıda ölçüm alarak istatistiksel hataları azaltabiliriz.

Hata Hesabı:

Fiziksel bir büyüklük için bir x ölçümünü yapalım (uzunluk, kütle, zaman ölçümü vb.). Ölçümümüzü n kez tekrar edelim. Ölçümümüz bir değer çevresinde Gauss dağılımı (normal dağılım) gösterecektir. x ortalama değeri ve σ standart sapmalı Gauss dağılımı

$f(x, \bar{x}, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$, ile verilir. Çok sayıda ölçümün alındığı bir durumda fiziksel olarak ölçümü tarif etmek için kullanılır.

Ortalama Değer:

Bir x niceliğinin ayrık n tane ölçümü için ortalama değer aritmetik ortalama alınarak bulunur.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$\bar{x}$ Değeri, bir fiziksel ölçüm için en olası değer ya da en iyi ölçüm değeridir.

Standard Sapma:

Ayrık x_i ($i = 1, \dots, n$) ölçümlerinin her birinin ortalama değerden ($\bar{x}$) ne kadar farklılaştığını gösteren ifadeye sapma denir. i. ölçüm için sapma;

$a_i = x_i - \bar{x}$, ile verilir. a_i Değerleri pozitif, negatif veya sıfır olabilir. a_i ' lerin hepsi çok küçükse, ölçümler birbirine o kadar yakın demektir. Sapma değerlerinin aritmetik ortalaması sıfır verebilir. Dolayısı ile sapmanın ortalaması ölçümün güvenilirliği ile ilgili bilgi vermeyebilir.

$\sum_{i=1}^n a_i = 0 \rightarrow$ Sapma değerlerinin karelerini toplayıp karekökünü alınmalı.

Mutlak Hata: Sapma değerlerinin mutlak değerlerinin ortalamasını alınırsa, pozitif bir sayı elde edilir ve ölçüm güvenilirliği ile ilgili bir bilgi edinilebilir.

$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |a_i|$, şeklinde tanımlanır. Mutlak hatayı kullanarak ölçüm sonuçları şu şekilde tanımlanır.

$$x = \bar{x} \pm \bar{a}$$

Standart Sapma: Ölçüm sonuçlarının daha hassas bir şekilde değerlendirilmesi için mutlak hatadan farklı bir tanımlamaya ihtiyaç vardır.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(x_i - \bar{x} \right)^2$$

$\bar{x}$: Örneklem ortalaması

n: Örneklem sayısı

s: Örneklem standart sapması

x_i : i. gözlem

Standart sapma, ayrık $x_1, \dots, x_n$ ölçümlerindeki ortalama belirsizliği ifade eder. Standart sapmayı kullanarak ölçüm sonuçlarını şu şekilde verebiliriz:

$$x = \bar{x} \pm \sigma$$

Bağıl Hata:

Daha çok kesirsel ifade edilir ve yüzde olarak verilir. Örneğin, bir deney sonucu bağıl hata 0,0023 olarak veriliyorsa, ölçüm sonucu % 0,23 hata yapılmış demektir.

$$|x_g - x_d| / x_g : \text{Bağıl hata}$$

Bir Örnek:

Bir üretim tesisinden alınan kompozit malzemenin termal iletkenlik değeri 15 defa ölçülmüş ve aşağıdaki tabloya aktarılmıştır. Ortalama termal iletkenlik değerini, standart sapmayı ve 1,9 gözlem değeri için bağıl hatayı hesaplayınız.

Deney	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Termal iletkenlik (W/m*K)	1,1	1,5	1,6	1,5	1,8	1,9	1,5	1,7	1,9	1,6	1,3	1,4	1,6	1,8	1,7

$\bar{x}$: Ortalama termal iletkenlik

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{[1,1 + 1,5 + 1,6 + 1,5 + 1,8 + \dots + 1,7]}{15} = 1,5933 \approx 1,6 \text{ W / m * K}$$

s : Standart sapma

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{14} [(1,1 - 1,5933)^2 + (1,5 - 1,5933)^2 + \dots + (1,7 - 1,5933)^2]$$

$$s=0,2219 \rightarrow s=0,22$$

Ortalama termal iletkenlik değeri ölçüm belirsizliğini ifade eden standart sapma ile beraber verilmelidir.

$$x = \bar{x} \pm \sigma = 1,6 \pm 0,22; \text{ W/m*K}$$

$$x_g = 1,9 \text{ için;}$$

$$|x_g - \bar{x}| / x_g = |1,9 - 1,6| / 1,9 = 0,16 \text{ olarak bağıl hata elde edilir.}$$

Doğrusal Regresyon:

Deney sonuçlarının $y=a*x+b$ şeklindeki bir doğruya kuramsal olarak uyduğunu varsayalım. Veri seti için aşağıdaki eşitlikten yararlanarak birinci dereceden doğrusal meta-model elde edilebilir (tek etkenli, x ve tek yanıtı, y bir deney tasarımı için).

$$S_{xx} = \sum x^2 - N \left(\bar{x} \right)^2$$

$$S_{yy} = \sum y^2 - N \left(\bar{y} \right)^2$$

$$S_{XY} = \sum xy - N \bar{x} \bar{y}$$

$$b = \frac{S_{XY}}{S_{XX}}$$

$\bar{x}$ ve $\bar{y}$: Örneklem ortalaması

N: İlgili veri seti örneklem sayısı

$\sum x^2$ ve $\sum y^2$: İlgili veri seti gözlemlerin karelerinin toplamı

Bir Örnek:

Bir üretim tesisinde reaktant dönüşüm yüzdesinin ortam sıcaklığından etkilendiği belirlenmiş ve ortam sıcaklığı için reaktant dönüşüm yüzdesine ilişkin veriler aşağıdaki Tabloda verilmiştir.

Tablo: Ortam sıcaklığı etkileri için reaktant dönüşüm yüzdesine ilişkin veriler

ORTAM SICAKLIĞI (°C), X	Reaktant dönüşüm yüzdesi (%), Y
77	82
50	66
71	78
72	34
81	47
94	85
96	99
99	99
67	68

Reaktant dönüşüm yüzdesini ortam sıcaklığı ile ilişkilendiren bir doğrusal regresyon modeli oluşturunuz.

Tek yanıt ve tek etkenli deneyler için doğrusal regresyon modeli oluşturulabilir.

$$S_{XX} = \sum x^2 - N \left(\bar{x} \right)^2 = 57557 - \left[(9) * (78,56)^2 \right] = 2012$$

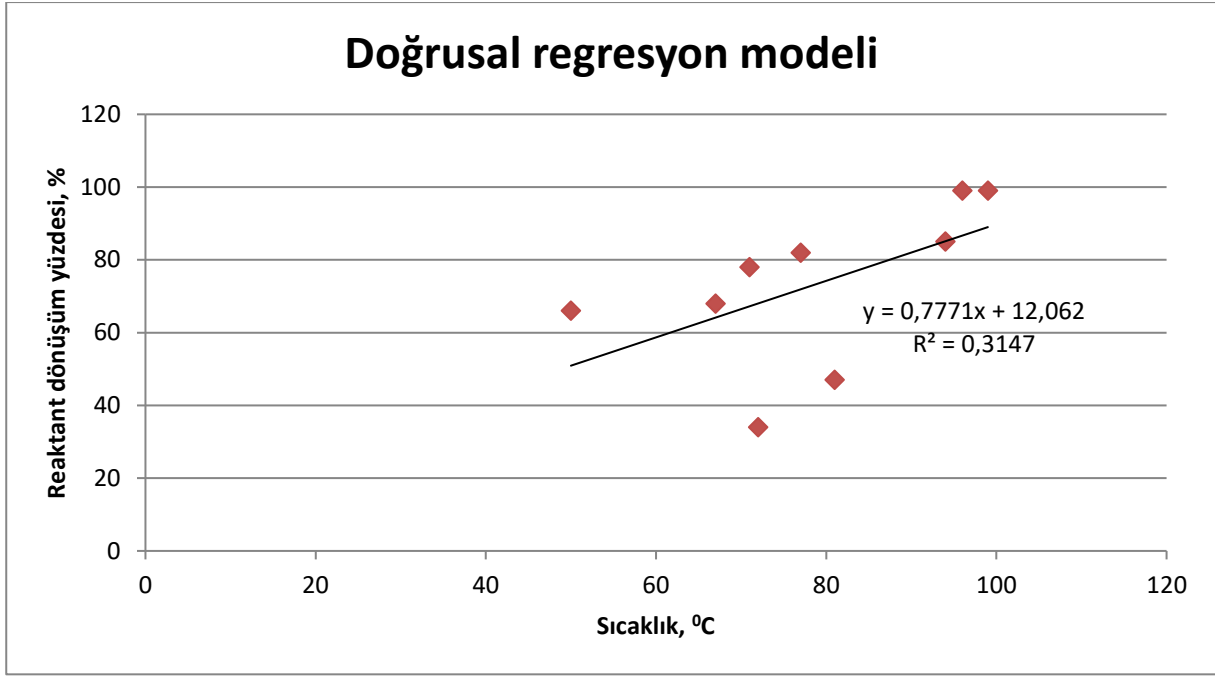
$$S_{YY} = \sum y^2 - N \left(\bar{y} \right)^2 = 51,980 - \left[(9) * (73,11)^2 \right] = 3874$$

$$S_{XY} = \sum xy - N \bar{x} \bar{y} = 53258 - \left[(9) * 78,56 * 73,11 \right] = 1566$$

$$b = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} = \frac{1566}{2012} = 0,77$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x} = 73,11 - \left[(0,77) * (78,56) \right] = 12,61$$

$\hat{Y} = 12,06 + 0,77X$, şeklinde bir doğrusal model elde edilir.



Hataların Yayılması:

Ölçülen nicelikler başka bir fiziksel niceliğin hesaplanmasında kullanılıyorsa, ölçümdeki belirsizlikler hesaplanan nicelikte de bir belirsizlik oluşturur. Buna “hatanın yayılması” diyoruz.

$A+\Delta A$ ve $B+\Delta B$ ölçülen nicelikler olsun, hesaplanacak nicelik $C = A+B$ veya $C = A- B$ ise, hesaplanan C niceliğindeki belirsizlik;

$$\Delta C = \sqrt{(\Delta A)^2 + (\Delta B)^2} \text{ Şeklinde tanımlanır.}$$

Hesaplanacak nicelik $C = A*B$ veya $C = A/B$ ise, hesaplanan C niceliğindeki belirsizlik;

$$\frac{\Delta C}{C} = \sqrt{\left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2} \text{ Şeklinde tanımlanır.}$$

Hesaplanacak nicelik $C = A^n$ (n sabit) hesaplanan C niceliğindeki belirsizlik;

$$\frac{\Delta C}{C} = |n| \frac{\Delta A}{A} \text{ Şeklinde tanımlanır.}$$

Bir Örnek:

Yoğunluk: $d = \frac{m}{V} \rightarrow \frac{\Delta d}{d} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2}$

Kaynaklar:

- 1.Montgomery, D.C. 2012. Design and Analysis of Experiments. 8. Edition. John Wiley&Sons, pp. 730.
2. Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, S.L., Ye, K.E. 2016. Probability and Statistics or Engineers and Scientists, 9. Edition, pp.816.
3. Gündüz, T. 2010. Kimyacılar için İstatistik. Gazi Kitabevi, pp. 292.
4. Skoog,
4. Polat, M. Ders Notları: Anlamlı Sayılar, Ölçüm Hataları ve Bir Deneyin Analizi. <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~polat/HATA-HESABI.pdf>: Erişim Tarihi: 09.10.2016.
- 5.Wolfs, F.R.H. Lecture Notes: Error Analysis. University of Rochester. http://teacher.nsrj.rochester.edu/phy_labs/AppendixB/AppendixB.html. Erişim Tarihi: 09.10.2016.

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

SIVI SEVİYE KONTROLÜ

Grup 2

120901022 Merve Aktaş

KMÜ406

Kimya Mühendisliği Laboratuvarı III

Deney Raporu

Nisan 2015

ÇANKIRI

LABORATUVAR GÜVENLİĞİ

Laboratuvarda bulunmanız ya da oradan geçiyor olmanız, potansiyel bir tehlike içermektedir. Kendinizin ve çevrenizdeki diğer insanların güvenliği açısından Laboratuvar Kurallarına uymanız bu potansiyel tehlikeyi azaltacak en güzel yaklaşımdır. Güvenli bir ortamın sağlanabilmesi için aşağıda çeşitli başlıklar altında topladığımız kurallar hepimiz tarafından okunmuş ve öğrenilmiş olmalı, hatta bu kuralları gelecek yaşantınızda görev alacağınız iş yerlerine de götürerek herkesin bu kurallara uyması için elinizden geleni yapmalısınız.

3.1. Emniyetli Çalışma Kuralları

1. Gereksiz yere ACELE ETMEYİN.
2. İskele, tezgah vs. ÜZERINE ÇIKMAYIN, MERDİVEN KULLANIN.
3. Bir malzeme veya aleti fazla UZANARAK ALMAYA ÇALIŞMAYIN.
4. KİŞİSEL SAĞLIK/GİYİM kurallarına uyun.
5. Laboratuvardan çıkınca ellerinizi mutlaka yıkayın.
6. Ellerinizi sık sık özellikle yemeklerden önce yıkayın.
7. Ellerde açık yara, kesik, çatlak vs. varsa çalışmaya başlamadan önce mutlaka bandajla kapatın ve yapacağınız işe uygun eldiven giyin.
8. Zararlı, zehirleyici, tahriş edici kimyasallarla çalışırken mutlaka uygun kişisel koruyucu donanımlar (maske, gözlük, eldiven vb.) kullanılmalıdır.
9. Laboratuvarda çalışırken uzun saçlar toplanmalıdır.
10. Laboratuvarda yüzük, künye, kolye, bilezik gibi eşyalar ile çalışmak tehlikeli olabilir. Çalışmaya başlamadan önce çıkarın.
11. Laboratuvarda çalışırken mutlaka uzun kollu önlük ve kapalı laboratuvar ayakkabısı giyin.
12. Önlük ve pantolon ceplerinde kesici ve batıcı aletler taşımayın.
13. Önlük içindeki kıyafetiniz ve ayakkabınız rahat hareket etmenize engel olmamalıdır.
14. Laboratuvarlarda **YİYECEK / İÇECEK BULUNDURULMAZ YENMEZ / İÇİLMEZ.**
15. Kişisel masa, yemekhane ve benzeri yerlere kimyasal madde, numune vb. **KOYMAYIN.**
16. Yangın söndürme teçhizat ve çıkışlarının önünü **KAPATMAYIN.**
17. Elektrik düğmelerinin veya izolatörlerinin önünü **KAPATMAYIN.**
18. Yürüyüş alanlarını boş ve temiz tutun.
19. Tüm dosya ve tezgah altı **DOLAPLARI KAPALI TUTUN.**
20. Elektrik motorlarının havalandırılması gereklidir, çevresinin boş olmasını sağlayın.
21. **BEDEN VE EL ŞAKALALARI YAPMAYIN.**
22. **LABORATUVARLARI GÜVENLİ, TEMİZ VE DÜZENLİ TUTUN.**
23. Deneysel çalışma sonunda temizlik ve düzen için zaman ayırın.
24. Düzenli bir yerde çalışmak morali yükseltir, verimi artırır, kaza risklerini ve yangın zararlarını azaltır.
25. **GAZ TÜPLERİNİN** ısınmayacak yerlere yerleştirilmesini sağlayın.
26. Kullanılmayan gaz vanalarını tamamen **KAPATIN.**
27. Yanıcı gazlar kullanılırken sisteminizi asla **TERK ETMEYİN.**
28. **KOLAY ALEV ALAN / PARLAYICI ÇÖZÜCÜLERLE** çalışma kurallarına uyun.
29. Tüm alev alıcı çözücüler kapalı kaplarda saklanmalı ve gerektiği şekilde etiketlenmiş olmalıdır.
30. Bu çözücüler kullanılmadıkları zaman güvenlik dolaplarında muhafaza edilmelidir.
31. Alev alıcı çözücüler etiketlerinde belirtilen sıcaklıklarda ve havalandırılmalı ortamlarda saklanmalıdır.
32. Miktarı 50 litreyi aşan çözücüler döküntülerin birikeceği tepsiler bulunan metal güvenlik dolaplarında ve özel olarak hazırlanmış ya da bu amaca uygun olarak yeniden düzenlenmiş

odalarda saklanmalıdır. Miktarı 50 litreyi aşan çözücülerin herhangi bir laboratuvarda saklanması yasaktır.

33. Alev alıcı çözücüler ateşleme kaynaklarından uzak tutulmalıdır.
34. **ELEKTRİKLE İLGİLİ GÜVENLİK** tedbirlerine uyun.
35. Islak ellerle veya ıslak zemin üzerindeyken elektrikli aletlere dokunmayın.
36. Elektrikli bir aletin üzerine su döküldüğünde elektrik hattı ile bağlantısını kesin ve gerekli temizliğin yapılmasını sağlayın. Tekrar kullanmadan önce kontrolünü yaptırın.
37. Fırın gibi yüksek akım çeken aletleri çoklu uzatma kabloları ile kullanmayın.
38. Kablo tesisatı sık sık kontrol edilerek karışması ya da düğümlenmesi engellenmelidir.
39. Ön ısıtma süresi olmayan aletler kullanıldıktan hemen sonra kapatılmalıdır.
40. Ana şebeke ile ilgili veya tehlikeli voltajların söz konusu olduğu elektrik tesisat işleri yetkili bir elektrik teknisyeni tarafından yapılmalıdır.
41. Elektrik şalter kutularını kesinlikle açmayınız ve müdahalede bulunmayınız. Bir arıza durumunda elektrikçiye haber veriniz.

3.2. Genel Laboratuvar Kuralları

1. Çalışmalarda dikkat ve itina ön planda tutulmalıdır.
2. Laboratuvarların giriş çıkışı denetlenmeli ve çalışanlar dışındakilerin girmeleri engellenmelidir.
3. Laboratuvarın faaliyet gösterdiği konulara göre ortaya çıkan atıklar doğrudan alıcı ortama verilmemeli, tekniğine ve mevzuata uygun bir biçimde etkisiz hale getirilmelidir.
4. Atılacak katı maddeler çöp kutusuna atılmalıdır. İş bitmiş, içinde sıvı bulunan beher, erlen, tüp gibi temizlenecek cam kaplar da lavaboya konulmalı, masa üzerinde bırakılmamalıdır.
5. Su, gaz muslukları ve elektrik düğmeleri, çalışılmadığı hallerde kapatılmalıdır.
6. Malzemeler özenle ve dikkatle kullanılmalıdır.
7. Laboratuvarda gürültü yapılmamalıdır. Asla şaka yapılmamalıdır.
8. Laboratuvarda meydana gelen her türlü olay, laboratuvarı yönetenlere anında haber verilmelidir.
9. Laboratuvarı yönetenlerin izni olmadan hiçbir madde ve malzeme laboratuvardan dışarı çıkarılmamalıdır.
10. Katı haldeki maddeler şişelerden daima temiz bir spatül veya kaşıkla alınmalıdır. Aynı kaşık temizlenmeden başka bir madde içine sokulmamalıdır. Şişe kapakları hiçbir zaman alt tarafları ile masa üzerine konulmamalıdır. Aksi takdirde, kapak yabancı maddelerle kirleneceği için tekrar. Şişeye yerleştirilince bu yabancı maddeler şişe içindeki saf madde veya çözelti ile temas edip, onu bozabilir.
11. Şişelerden sıvı akıtılırken etiket tarafı yukarı gelecek şekilde tutulmalıdır. Aksi halde şişenin ağzından akan damlalar etiketi ve üzerindeki yazıyı bozar. Şişenin ağzında kalan son damlaların da şişenin kendi kapağı ile silinmesi en uygun şekildir.
12. Kimyasal maddelerin gelişigüzel birbirine karıştırılması çok büyük tehlikeler yaratabilir.
13. Bazı kimyasal maddeler birbiriyle reaksiyona girerek yangına veya şiddetli patlamalara yol açarlar ya da toksik ürünler oluştururlar. Bunlar her zaman ayrı ayrı yerlerde muhafaza edilmelidir. Bu maddeler Çizelge 4.2.1 'de özetlenmiştir.
14. Çözelti konulan şişelerin etiketlenmesi gerek görünüş ve gerekse yanlışlıklara meydan verilmemesi için gereklidir. Kağıt etiket kullanılıyorsa yazıların ıslanınca akmaması için çini mürekkep kullanılması iyi sonuç verir. Etiketlerin arkası nemlendirilirken ağıza ve dile sürülmemelidir.
15. Kimyasal maddeler risk gruplarına ve saklama koşullarına göre, havalandırma sistemli ayrı oda, dolap veya depolarda bulundurulmalıdır. Kimyasal maddelerin bulunduğu yer kilitli olmalı, anahtarı depo sorumlusu olmalıdır.

16. Organik çözücüler lavaboya dökülmemelidir.
17. Tartım veya titrasyon sonuçları küçük kağıtlara yazılmamalıdır. Bu kağıtlar kaybolabilir ve analizin tekrarlanması zorunluluğu ortaya çıkabilir.
18. Ecza dolabında neler bulunduğu, yangın söndürme cihazının nasıl çalıştığı bilinmelidir. Bu konuda eğitim yapılmalıdır.
19. Şişelerin kapak veya tıpaları değiştirilmemelidir. Çözelti şişelere doldurulurken dörtte bir kadar kısım genişleme payı olarak bırakılır.
20. Etiketsiz bir şişeye veya kaba, kimyasal madde konulmaz. Ayrıca boş kaba kimyasal bir madde koyunca hemen etiketi yapıştırılmalıdır, bütün şişeler etiketli olmalıdır. Üzerinde etiketi olmayan şişelerdeki kimyasal maddeler, deneylerde kesinlikle kullanılmamalıdır.
21. Cam keserken ve şişe ağzına mantar takarken ellerin kesilmemesi için özel eldiven veya bez kullanılmalıdır. Ucu sivri, kırık cam tüplerine, borulara lastik tıpa geçirilmemelidir. Böyle uçlar; havagazı ocağı, zımpara veya ege ile düzgün hale getirilmelidir.
22. Lastik tıpalara geçirilecek cam boruların uçları su ile ıslatılmalı veya gliserin, vazelin ile yağlanmalıdır. Cam borular lastik tıpa ya direkt bastırılarak değil de döndürülerek sokulmalıdır.
23. Tüp içinde bulunan bir sıvı ısıtılacağı zaman tüp, üst kısımdan aşağıya doğru yavaş yavaş ısıtılmalı ve tüp çok hafif şekilde devamlı sallanmalıdır. Tüpün ağzı kendinize veya yanınızda çalışan kişiye doğru tutulmamalı ve asla üzerine eğilip yukarıdan aşağıya doğru bakılmamalıdır. Yüze sıçrayabilir.
24. Hiçbir çözelti pipetten ağız yolu ile çekilmemelidir. Bu işlem için vakum ya da puar kullanılmalıdır.
25. Genel olarak toksik olmadığı bilinen kimyasal maddeler bile, ağıza alınıp tadına bakılmamalıdır.
26. **Benzin, eter ve karbon sülfür** gibi çok uçucu maddeler ne kadar uzakta olursa olsun **açık alev** bulunan laboratuvarlarda kullanılmamalıdır. Eter buharları 5 metre ve hatta daha uzaktaki alevden yanabilir ve o yanan buharlar ateşi taşıyabilir.
27. Sülfürik asit, nitrik asit, hidroklorik asit, hidroflorik asit gibi asitlerle bromür, hidrojen sülfür, hidrojen siyanür, klorür gibi zehirli gazlar içeren maddeler ile çeker ocakta çalışılmalıdır.
28. Tüm asitler ve alkaliler sulandırılırken daima suyun üzerine ve yavaş yavaş dökülmeli, asla tersi yapılmamalıdır.
29. Civa herhangi bir şekilde dökülürse vakum kaynağı ya da köpük tipi sentetik süngerlerle toplanmalıdır. Eğer toplanmayacak kadar eser miktarda ise üzerine toz kükürt serpilmeli ve bu yolla sülfür haline getirilerek zararsız hale sokulmalıdır.
30. Termometre kırıklarının civalı kısımları ya da civa artıkları asla çöpe ya da lavaboya atılmamalı, toprağa gömülmelidir.
31. Elektrikle uğraşırken eller ve basılan yer kuru olmalı, metal olmamalı, elektrik fişleri kordondan çekilerek çıkarılmamalıdır. Gerektiğinde bazı işlemleri hemen yapabilmek için gerektiği kadar elektrik bilgisi edinilmeli, büyük onarımlar mutlaka ehliyetli teknisyenlere yaptırılmalıdır.
32. Kimyasallar taşınırken iki el kullanılmalı, bir el kapaktan sıkıca tutarken, diğeri ile şişenin altından kavranmalıdır. Desikatör taşınırken mutlaka kapak ve ana kısım birlikte tutulmalıdır. Desikatör kapakları arasına vazelin ile yağlanmalıdır.
33. Laboratuvar terkedilirken bulaşıklar yıkanmalı, tüm kimyasallar güvenlik altına alınmalı, gaz muslukları ana musluktan kapatılmalıdır.
34. Gözler daima korunmalıdır. Emniyet gözlükleri takmak yararlıdır. Gazlardan dolayı gözlerin herhangi bir tahrişinde buna engel olmak için gözleri sık sık soğuk su ile yıkamak veya bol su akıtmak gereklidir.

35. Asit, baz gibi aşındırıcı yakıcı maddeler deriye damladığı veya sıçradığı hallerde derhal bol miktarda su ile yıkanmalıdır.
36. İçinde kültür bulunan tüp, petri kutusu gibi malzeme açık olarak masa üzerine bırakılmamalı, tüpler önlük cebinde taşınmamalı, masa üzerine gelişigüzel konulmamalıdır. Tüpler tüplükte tutulmalıdır.
37. Pipetleme yapılırken kesinlikle üflenmemelidir.
38. Etil alkol gibi yanıcı, tutuşucu maddeler Bunzen beki alevi çevresinden uzak tutulmalıdır.
39. Ellerde kesik, yara ve benzeri durumlar varsa bunların üzeri ancak su geçirmez bir bantla kapatıldıktan sonra çalışılmalı, aksi takdirde çalışılmamalı ve son durum sorumluya iletilmelidir.
40. Çalışma bittikten sonra kirli malzemeler kendilerine ait kaplara konulmalıdır. Örneğin; kullanılmış pipetler, lam ve lamel hemen, içinde dezenfektan çözeltisi bulunan özel kaplara aktarılmalıdır.
41. Laboratuvar terkedilirken bulaşıklar yıkanmalı, tüm kimyasallar güvenlik altına alınmalı, gaz muslukları ana musluktan kapatılmalıdır.
42. Çalışma bittikten sonra **eller sabunlu su** ve gerektiğinde antiseptik bir sıvı **ile yıkanmalıdır.**
43. Laboratuvarda tek başına çalışılmamalıdır.

Çizelge 3.1: Birbiri ile karıştırılmaması gereken kimyasallar

Kimyasal	Karışmaması Gereken Kimyasallar
Aktif karbon	Kalsiyum hipoklorit, oksidan maddeler
Alkali metaller (Na, K. vb.)	Hidrokarbonlar ve sulu çözeltileri, su
Amonyak	Civa, klor, iyot, brom, kalsiyum
Amonyum nitrat	Toz halindeki metaller, yanıcı sıvılar, kükürt, kloratlar, tüm asitler, nitritler
Anilin	Hidrojen peroksit, nitrik asit
Asetik asit	Kromik asit, nitrik asit, hidroksil içeren bileşikler, etilen glikol, perklorik asit, peroksitler, permanganatlar
Asetilen	Flor, klor, brom, bakır, civa, gümüş
Aseton	Derişik nitrik asit, derişik sülfürik asit
Bakır	Asetilen, hidrojen peroksit
Brom	Amonyak, asetilen, bütan ve diğer petrol gazları, turpentin
Civa	Asetilen, amonyak
Flor	Bütün maddeler
Gümüş	Asetilen, okzalik asit, tartarik asit, amonyak, karbondioksit
Hidroflorik asit	Amonyak
Hidrojen peroksit	Bakır, krom, demir, metal ve metal tuzları, yanıcı sıvılar,
Anilin, nitrometan	Anilin, nitrometan
Hidrojen sülfid	Nitrik asit, oksidan maddeler
Hidrokarbonlar	Flor, klor, brom, kromik asit, sodyum peroksit (benzen, eter)
Hidrosiyanik asit	Nitrik asit, alkaliler
İyot	Asetilen, amonyak
Kalsiyum oksit	Su
Klor	Amonyak, asetilen, bütan ve diğer petrol gazları, turpentin
Kloratlar	Amonyak, toz halindeki metaller
Kromik asit	Asetik asit, gliserin, bazı alkoller, yanıcı sıvılar, turpentin
Kükürtlü hidrojen	Nitrik asit, oksidan gazlar
Nitrik asit	Asetik asit, anilin, kromik asit, hidrosiyanik asit, hidrojen sülfid, yanıcı sıvılar ve gazlar
Oksijen	Yağlar, gres, hidrojen, yanıcı sıvılar, yanıcı katılar ve yanıcı
Okzalik asit	Gümüş, civa
Perklorik asit	Asetik anhidrit, alkoller, karbon tetraklorür, karbon dioksit
Potasyum permanganat	Gliserin, etilen glikol, benaldehit, sülfürik asit
Sodyum nitrat	Amonyum nitrat, diğer amonyum tuzları
Sülfürik asit	Kloratlar, perkloratlar, permanganatlar
Yanıcı sıvılar	Amonyum nitrat, kromik asit, hidrojen peroksit, nitrik asit, halojenler



Kaynaklar:

1. Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvar El Kitabı, 255 s., 2013.

DENEYLER

4.1 Viskozite Tayini

4.1.1. Genel Bilgiler

Akışkanlarda yoğunluk ve viskozite temel özelliklerdir. Bir akışkanın akmaya karşı iç direnç göstermesi özelliğine viskozite denir. Akan bir akışkanın bir cisme akma yönünde uyguladığı kuvvet, direnç kuvveti olarak bilinir. Bu kuvvetin büyüklüğü kısmen viskoziteye bağlıdır. Bir akışkanın viskozitesi, şekil değişimine karşı gösterdiği direncin ölçüsü olarak da tanımlanabilir. Viskozite (μ), kayma gerilmesi (τ), ile ilişkilidir ve kayma gerilmesi, Newton tipi akışkanlar ve plakalar arasındaki basit kayma akışı (bir boyutlu akış) için aşağıdaki denklem ile verildiği gibi ifade edilir [1].

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

Yukarıdaki denklem μ akışkanın viskozitesi veya dinamik (ya da mutlak) viskozitesini, u (m.s^{-1}) akış yönündeki hız bileşenini ve y (m) akış yönüne dik olan yönü göstermektedir. du/dy ise hız değişimini vermektedir. Newton tipi akışkanın şekil değişimi, kayma gerilmesi ile doğru orantılıdır ve orantı sabiti viskozitedir. Dinamik viskozitenin birimi, kg.(ms)^{-1} , N.(sm)^{-2} , Pa.s veya poise olarak yazılabilir ($1 \text{ Pa.s} = 10 \text{ poise}$) [1].

Dinamik viskozitenin yanında ayrıca kinematik viskozite kullanımı da görülmektedir. Akışkanlar mekaniği ve ısı transferinde dinamik viskozitenin (μ), yoğunluğa (ρ) oranına kinematik viskozite (ν) denir. Aşağıdaki denklemde kinematik viskozitenin denklemi gösterilmektedir:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Dinamik viskozite (μ) $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$, yoğunluk (ρ) kg.m^{-3} , kinematik viskozite (ν) $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ya da stoke birimleri ile kullanılmaktadır.

$$1 \text{ stoke} = 1 \text{ cm}^2.\text{s}^{-1} = 0,0001 \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$$

Viskozite Ölçüm Yöntemleri

Viskozite ölçümü için birbirinden farklı birkaç yöntem vardır. Viskozite ölçmek için kullanılan araçlara viskozimetre, viskozite ölçme işlemine ise viskozimetri denir. Kılcal viskozimetre, düşen küre viskozimetresi ve dönme viskozimetresi çok kullanılan viskozite ölçen araçlardan bir kaçıdır.

Kapiler Akma Yöntemi; Hacmi V olan bir akışkan iç yarıçapı r ve uzunluğu l olan bir kılcal borudan t süresinde aktığında, akımın hacimsel hızı Hagen-Poiseuille tarafından denklemi ile verilmiştir.

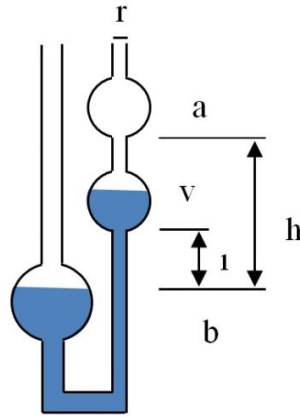
$$\frac{V}{t} = \frac{\pi \Delta p}{8 \eta l}$$

Birim zamanda akan sıvının hacmi (hacimsel hız) borunun yarıçapının dördüncü kuvveti ve borunun iki ucu arasındaki Δp basınç farkı ile doğru orantılıdır. Ancak dinamik viskozite ve boru uzunluğu ile ters orantılıdır. Kılcal boru yere dik tutulduğunda iki ucu arasındaki basınç farkı, yüksekliği h ve yoğunluğu ρ olan sıvının basıncına eşittir. Viskozite çekilirse viskozimetre için bütün sabitler k sabiti içinde toplanır ve aynı viskozimetre kullanıldığında iki ayrı sıvı için ayrı ayrı yazılıp oranlanırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\eta_2' = \frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{\rho_2 t_2}{\rho_1 t_1}$$

Burada η_2' ikinci sıvının birinci sıvıya göre bağıl viskozitesini göstermektedir. Genellikle bütün sıvıların suya göre bağıl viskoziteleri verilmektedir. Suyun mutlak viskozitesi η_1 ve diğer sıvının suya göre bağıl viskozitesi η_2' bilindiğinde, aynı sıvının mutlak viskozitesi eşitliğinden hesaplanır [2].

Oswald Viskozimetresi; Ostwald viskozimetresi aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi bir kolu kılcal olan U şeklinde borudur. Hacmi a ve b çizgileri arasında kalan v değerine eşit olan bir sıvının kılcal borudan akma süresi ölçülerek viskozite tayini yapılır.



Şekil 4.1.1 Ostwald viskozimetresi [2].

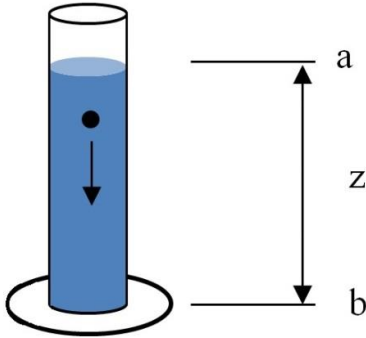
Şekildeki v akan sıvının hacmini, t akma süresini, r kılcalın yarıçapını, h akmanın başladığı andaki hidrostatik yüksekliği, l işaretli iki çizgi arasında kalan kılcalın uzunluğunu, ρ sıvının yoğunluğunu, η ise viskozluğunu göstermektedir [2].

Böyle bir viskozimetre için k bir sabit olmak üzere;

$$\eta = \frac{\pi r^4 h g}{8 v l} \rho t$$

Bağıntısı kullanılarak viskozite hesaplanır.

Stokes Yasası; Bir metal bilyenin sıvı içinde limit düşme hızı ölçülerek de viskozite bulunabilir. Sıvı içinde düşmekte olan bir metal küre yerçekimi kuvveti ile buna ters yönde olan Stokes sürtünme kuvvetinin etkisi altındadır. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi bu iki kuvvet eşitliğinde küre limit hıza erişir ve sıvı içinde doğrusal bir hareketle aşağıya düşer.



Şekil 4.1.2 Stokes yasaı uyarınca viskozluk tayini [2].

Belli bir limit hıza ulaşma aralığı geçildikten sonra kürenin a ve b arasındaki z yüksekliğinden limit hızla düşme süresi olan t ölçülür. Buradan;

$$v = \frac{z}{t} \quad \text{limit hızı bulunur.}$$

Küreye etkiyen yerçekimi kuvveti, yani kürenin sıvı içindeki ağırlığı ve Stokes kuvveti eşitlendiğinde viskozite için

$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho - \rho')}{9v} = \frac{2r^2 g(\rho - \rho')t}{9h} \quad \text{Bağıntısı elde edilir [2].}$$

Amaçlar

Bu deneyde örnek olarak verilen numunelerin viskozitesi belirlenecektir.

4.1.2. Materyal ve Metot

Öncelikle numuneler hazırlanır. Behere konularak viskozimetrenin altına yerleştirilir. Önceden kalibre edilmiş viskozimetre ayarlı karıştırma hızı ile çalıştırılır. İstenilen süre boyunca karıştırıldıktan sonra, dijital ekrandan okunan veriler alınıp formüle yerleştirilerek numunenin viskozitesi hesaplanır.

Kaynaklar

1. “Kimya Mühendisliğine Giriş”, Papatya Yayıncılık, Prof. Dr. Selahattin Gültekin, İstanbul, 2013.
2. “Kimya Teknolojisi Sıvılar”, Megep, Ankara, 2007

4.1.3. Deney Sistemi



Şekil 4.1.3. Viskozimetre Cihazı

4.1.4. Hazırlık Soruları

1. Viskozite nedir?
2. Viskozite ölçüm yöntemleri nelerdir? Kısaca açıklayınız.
3. Deneyin amacı nedir?

4.2 Katı ve Sıvı Yakıtların Kalorifik Değerlerinin Belirlenmesi

4.2.1. Genel Bilgiler

Fiziksel ve kimyasal yapısında bir değişim meydana geldiğinde ısı enerjisi açığa çıkaran, esas yapısı itibariyle karbon, hidrojen ve oksijen bileşiklerinden meydana gelen her türlü madde yakıt olarak adlandırılmaktadır. Yakıtları katı, sıvı ve gaz yakıtlar olmak üzere üç sınıfa ayırabiliriz:

A. Gaz yakıtlar

1. Doğal gaz yakıtlar (Yer Gazı, sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG))
2. Sentetik gaz yakıtlar (Kok fırını gazı, su gazı, asetilen)

B. Sıvı yakıtlar

Sıvı yakıtlar en genel anlamda aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [1]:

1. Doğal sıvı yakıtlar
 - Petrol veya ham yağ
2. Sentetik sıvı yakıtlar
 - Petrol bileşenleri
 - Kömür bileşenleri
 - Alkoller

Hidrokarbonların ve dolayısıyla petrol ve gazın yeraltında nasıl oluştuğuna dair kesin bir bilgi olmamakla birlikte, 20. yüzyılın başından beri süregelen bilimsel araştırmaların sonucunda, tüm hidrokarbonların yaşamını yitirmiş canlıların artıklarının durgun deniz ve göl gibi ortamların tabanında birikmesiyle oluşmaya başladıklarını ortaya koymaktadır. Deniz, göl veya akarsularda yaşamını yitirmiş olan bitkisel ve hayvansal canlılar (ölü organizmalar), akarsuların bu ortamlara taşıdığı kum, kil ve mineral tanecikleri ile birlikte dibe çökerek bileşenler oluştururlar. Önce çökelen ve altta kalan kayaç bileşenleri sürekli artan çökelmelerden kaynaklanan üst ağırlık etkisi altında sıkışmaya ve birbirlerine tutunmaya başlarlar. Organik artıklar yeraltındaki ısı, radyoaktif element ışıması, bakteri etkisi ve üst ağırlık baskısı gibi etkenler altında kimyasal bozunmaya ve moleküler değişime uğrarlar. Yüz binlerce, milyonlarca yıl sürebilen ve katajenez adı verilen bu bozunma sürecinde organik kökenli katılar, sıvılar ve gazlar oluşur. Bunlardan sıvılar ve gazlar bozunmalarını sürdürerek bizim algıladığımız anlamda ham petrole ve doğal gaza dönüşürler. Organik hammaddenin katajenezi sırasında, bu maddelerin gözenek ve çatlaklarını doldurduğu kayaç da diyajenez adı verilen değişim süreci geçirir. Diyajenez sırasında organik artıkların kabukları ve mineraller hem kimyasal hem de fiziksel olarak değişimler geçirirler ve yeraltı kayaç katmanlarını oluştururlar. Gözenekleri içinde petrol ve gaz oluşan bu kayaçlara hazne kayaç adı verilir [2]. İçinde petrol ve doğalgaz bulunan bu haznelere petrol ve doğalgaz rezervuarı da denilmektedir.

Petrolde 3000 kadar hidrokarbonun olduğu sanılmaktadır. Bu gruplar;

- Alkanlar
- Naftenler
- Alkenler
- Aromatikler

Petrolde bulunan hidrokarbonların çoğu doymuş hidrokarbonlardır. Petrolde karbon ve hidrojenin yanında değişik miktarlarda kükürt, azot ve oksijen ile çok az miktarda nikel, vanadyum, kurşun, arsenik vb. metallerin tuzları da vardır. Petrolün elementel analizi genel olarak aşağıdaki gibidir:

- % 84-87 C
- % 11-14 H
- % 0-3 O
- % 0-1 N
- % 0-5 S [1].

Ham petrol bir karışımdır. Bu nedenle belirli bir kimyasal formülü yoktur. Ham petrolün bu şekilde kullanımının dezavantajları daha fazla olduğundan, çeşitli ayırma işlemleri uygulandıktan sonra elde edilen ürünler kullanılır. Uygulanan işlemler, ayırma işlemleri; damıtma ve dönüşüm işlemleri; ısıl parçalama, hidrojenle parçalama, katalitik parçalama, alkilasyon, izomerizasyon, polimerizasyon olarak sınıflandırılabilir.

Ham petrolden, uygulanan işlemler sonucu elde edilen ürünler; petrol gazı, yağlama yağları, mum, LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı), benzinler, gaz yağı, jet yakıtları, motorinler, kalorifer yakıtı, fuel oil şeklinde sıralanabilir [2].

C. Katı yakıtlar

1.Doğal katı yakıtlar (Odun, turba, linyit, taş kömür, antrasit)

2.Sentetik katı yakıtlar (Kok, odun kömürü, briket)

Katı yakıtlardan kömür, milyonlarca yıl önce tektonik hareketler sonucu büyük toprak yığınları altında kalarak, havasız ortamda sıcaklık ve basıncın etkisiyle meydana gelmiştir. Gerek oluşum çağları, gerek bileşimlerindeki karbon miktarı yönünden birbirlerinden ayrılırlar. Oluşumları ne kadar eski olursa kömürün ısıl değeri o kadar yüksek olur. Kömürlerin özelliklerinin, kullanılacakları yere göre bilinmesi gereklidir. Bu özellikler, kömürün alt ve üst ısı değerleri, bileşimleri, içerdikleri nem miktarları, kül miktarları, koklaşma değerleri, içerdikleri uçucu madde miktarları gibi özellikleridir.

Antrasit, en eski ve karbon yönünden en zengin kömür çeşididir ve % 90-95 karbon içermektedir. Taş kömürü % 80-90 oranında karbon içerir. Linyit ise oluşumunu tamamlayamamış kömürlerdendir. Yapısında su ve birçok yabancı madde bulunmaktadır ve karbon yüzdesi % 65-70 kadardır. Turba kömürü, yüksek miktarda su içerir ve karbon yüzdesi % 60 'ı geçmez. Kok,

fabrikalarda taş kömürünün içindeki gazların çıkarılmasından sonra elde edilen kömür türüdür. Odun kömürü ise, kapalı bir yerde odunlar yakılarak elde edilir. Külü az, kükürtsüz olduğu ve kolay yandığı için tercih edilir [1].

Kalorifik Değerlerin Belirlenmesi

Proses tasarımı sırasında yüksek verim eldesi konusunda yardımcı olması açısından, prosese enerji üretmek için yakıt olarak kullanılan hidrokarbonların ısı değerlerinin belirlenmesi önemlidir. Yakıtın ısı değeri; birim miktardaki yakıtın belirli koşullarda tam olarak yanması sonucunda oluşan ısı değeridir [3,4,5]. Bu ısı değerinin belirlenmesinde kullanılan en yaygın yöntem de “Kalorimetre” deneyidir. Kalorimetre; ısı aktarımına bağlı olarak sıcaklık değişiminin gözlenmesi yoluyla, açığa çıkan veya absorbe (soğurma) edilen ısı miktarının belirlenmesini sağlayan bir cihazdır [1].

Kimya mühendisliği açısından kalorifik değerlerin belirlenmesindeki genel amaç, proses için gerekli olan enerjinin optimum kaynaktan sağlanmasıdır. Elde edilecek ısı enerjisi yakıt ve proses ekipmanlarının verimlerine göre farklılık gösterebilir. Bu farklılıkları göz önünde bulundurarak doğru yakıt seçimi yapılabilmesi için laboratuvarında belirlenen bir özellik olan “Kalorifik Değer” özelliği kullanılır. Bu değer birim yakıttan elde edilebilecek enerjidir. Birim yakıtın yanmasıyla açığa çıkan ısı belirlenmesi için yapılan deneylerde kalorimetre genellikle 20 °C ortam sıcaklığına ayarlanır. Birçok yakıt, yanma sırasında su buharı içerir. Eğer yanma gazı 20 °C ye soğutulursa su buharı sıvı hale geçer ve bu esnada buharlaşma gizli ısıyı açığa çıkar. Bu şekilde yapılan deney üst kalorifik değeri verir. Uygulamada ise yanma gazları yüksek sıcaklıktadır. Bu durumda gazın gizli ısıyı açığa çıkamaz. Bu şekildeki bir yanmada elde edilen ısı ise alt kalorifik değerini ifade eder.

Katı ve sıvı yakıtlarda, kcal.kg^{-1} , gaz yakıtlarda kcal.m^{-3} olarak ifade edilen kalorifik değer, hafif sıvı yakıtlarda genellikle kcal.L^{-1} olarak verilir. Pratikte alt kalorifik değer kullanımı daha faydalıdır. Fakat bazı durumlarda üst kalorifik değer kullanımı da rastlanabilir. Bu nedenle yakıtların seçiminde veya iki yakıtın karşılaştırılmasında kalorifik değerlerden hangisinin kullanıldığına dikkat edilmelidir. Örneğin, Avrupa’da doğal gazda üst kalorifik değer kullanılırken, diğer yakıtlarda alt kalorifik değer kullanılmaktadır.

Amaçlar

Bu deneyde örnek olarak verilen katı ve sıvı yakıtların kalorifik değerleri belirlenecektir.

4.2.2. Materyal ve Metot

- 1 g numune tartılarak kuvarz kroze konur.
- İletken iplik kalorimetre aparatına bağlanır.

- c. Kroze aparatı yerine konulur ve aparata 5 mL su konularak sıkıca kapatıldıktan sonra oksijen basılır.
- d. Aparat cihazdaki yerine konulur ve sistemin yönergesine uyularak gerekli talimatlar yerine getirilir
- e. Deney sonucunda elde edilen sonuç not edilir ve aparatın temizliği yapılarak deney sonlanır.

4.2.3. Deney Sistemi



Şekil 4.2.1. Kalorimetre Cihazı

Kaynaklar

1. “KM 453 Kimya Mühendisliği Laboratuvarı II Deney Bilgileri” , A.Ü. Mühendislik Fakültesi, Ankara, 2003.
2. URL: <http://www.tpao.gov.tr/tpfiles/userfiles/files/petrolmerak.pdf>
3. “Anorganik Kimyasal Teknoloji”, Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Prof. Dr. Memnune Bildik, Elazığ, 1994.
4. Gürü. M., Yalçın. H., Stokimetre , Nobel Kitap evi.
5. Gürü. M., Yalçın. H., Stokimetre Problemleri. Palme Yayıncılık. Ankara , 2009.

Hazırlık Soruları

1. Yakıt nedir?
2. Yakıtlar kaçaya ayrılır? Kısaca açıklayınız.
3. Kalorimetre cihazının çalışma prensibini açıklayınız.
4. Isıl değer kaçaya ayrılır, alt ve üst ısıl değer tanımlarını yapınız.
5. Kalorimetre cihazında hangi yakıtların ısıl değeri bulunur?
6. Kalorifik değer yakıtın hangi özelliğine göre değişim gösterir.?
7. Termodinamik açıdan deney sisitemini, sistem, çevre ve evren açısından irdeleyiniz.

4.3 Osborne Reynolds Deney Sistemi ile Akış Rejiminin İncelenmesi

4.3.1. Genel Bilgiler

Akışkan nedir?

Sıvı ve gaz halindeki madde akışkan olarak nitelendirilir. Katı ve sıvı arasındaki fark, maddelerin şeklini değiştirmek üzere uygulanan kayma(kesme) gerilmesine karşı gösterdikleri direnç ile anlaşılır. Katı, uygulanan kayma(kesme) gerilmesine bir miktar şekil değiştirerek direnebilir. Tam tersine sıvı, kayma gerilmesi ne kadar küçük olursa olsun sürekli şekil değiştirir.

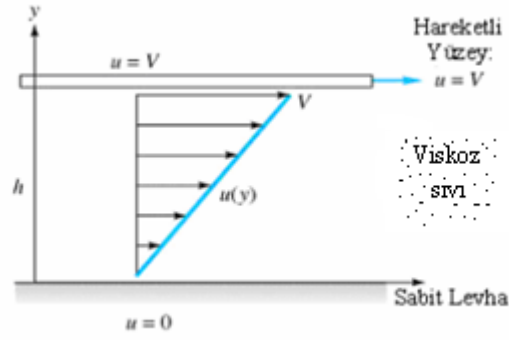
Akış olayları genellikle katı yüzeyler ile sınırlandırılır ve bu nedenle katı yüzeyin akışı nasıl etkilediği önemlidir. Bir boru içerisindeki ya da gözeneksiz katı bir yüzeyin üzerindeki akış düşünüldüğünde, hareket halindeki akışkanların yüzeye yaklaşınca tamamen durduğu gözlenir. Bu yüzden yüzeye göre bağıl hızın sıfır olduğu kabul edilir. Katıya doğrudan temas eden akışkan, viskoz etkiler nedeniyle yüzeye yapışır ve kayma söz konusu olmaz, bu duruma **kaymama koşulu** denir. Bu kaymama koşulu hız profiline gelişmesine neden olur. Viskoz etkilerin ve hız profiline önemli olduğu yüzeye yakın akış bölgesine **sınır tabaka** adı verilir. Kaymama koşuluna ve sınır tabakanın oluşmasına yol açan akışkan özelliği **viskozitedir**.

Akışkan Akışlarının Sınıflandırılması

Viskoz ve Viskoz Olmayan Akış Bölgeleri

İki akışkan tabakasının birbirlerine göre bağıl hareketi sırasında aralarında bir sürtünme kuvveti oluşur ve yavaş olan hızlı olan tabakayı yavaşlatmaya çalışır. Akışa karşı olan bu direnç akışkanın iç sürtünmesinin bir ölçüsüdür ve **viskozite** olarak adlandırılır.

Viskoziteye sıvılarda moleküller arası bağlayıcı kuvvet, gazlarda ise moleküler çarpışmalar neden olur. Viskozitesi olmayan bir akışkan yoktur ve dolayısıyla bütün akışkan akışları bir dereceye kadar viskoz etkileri içerirler. Viskoz etkilerin önemli olduğu akışlara **viskoz akışlar** denir. Bununla beraber, uygulamada karşılaşılan akışların çoğunda viskoz kuvvetlerin atalet ve basınç kuvvetlerinin yanında ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu bölgeler vardır. Bu tür **viskoz olmayan akış bölgelerinde** viskoz terimlerin ihmal edilmesi duyarlılığı fazlaca kaybetmeksizin çözümlemeyi oldukça basitleştirir.



Şekil 4.3.1. Sabit ve hareketli iki paralel plaka arasında viskoz akış hareketi

Viskozite için bir bağıntı elde etmek için aralarında h kadar mesafe bulunan iki geniş paralel plaka arasındaki akışkan tabakası dikkate alınır; alttaki plaka sabit tutulurken, üstteki plakaya paralel sabit bir F kuvveti uygulandığında, bu kuvvetin etkisiyle üstteki plaka sabit bir V hızıyla hareket eder. Üstteki plakayla temas eden akışkan plaka yüzeyine yapışır ve onunla aynı hızda hareket eder. Bu durumda akışkan tabakasına etki eden τ kayma gerilmesi Isaac Newton tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir;

$$\frac{F}{A} = \tau_{yx} = \mu \frac{du}{dy}$$

Burada F plakalardan birine x yönünde etkiyen kuvvet (N), A ise plaka ve akışkan arasındaki temas alanı olup du/dy deformasyon oranı(1/s), μ ise dinamik viskozite'dir ($\text{Pa}\cdot\text{s} = \text{kg/ms}$). Bu doğrusal bağıntıya ulaşan akışkanlar **Newton tipi akışkanlar** olarak adlandırılır. Su, hava, petrol ve yağlar gibi en genel akışkanlar Newton tipi akışkanlardır. Kan ve sıvı plastikler Newton tipi olmayan akışkan örnekleridir. Newton tipi olmayan akışkanlar için τ ile du/dy arasındaki bağıntı doğrusal değildir yani viskozite sabit olmayıp kayma(Kesme) geriliminin bir fonksiyonudur.

Newton tipi akışkan olan gazların viskozitesi sıcaklıkla artar ve 1000 kPa basınca kadar yaklaşık olarak basınçtan bağımsızdır. Viskozite, sıvılarda artan sıcaklıkla azalmasına rağmen basınçtan etkilenmez.

Akışkanların akış ve ısı transferi çalışmalarında, dinamik viskozitenin özgül kütleyle oranı ile çok karşılaşılır. Bu oran ν **kinematik viskozite** olarak adlandırılır ve $\nu = \mu/\rho$ şeklinde ifade edilir. Kinematik viskozitenin genel iki birimi ise m^2s^{-1} ve stoke şeklinde verilir.

İç ve Dış Akışlar

Akışlar, akışkanın sınırları belli bir kanal içinden ya da bir yüzeyin üzerinden akmaya zorlanmasına bağlı olarak iç veya dış akış olarak sınıflandırılır. Bir akışkanın bir plaka, bir tel ya da boru gibi bir yüzeyin üzerinden herhangi bir sınır olmaksızın akması **dış akıştır**. Akışkan katı yüzeylerle tamamen sınırlandırılmış olarak bir boru ya da kanal içerisindeyse bu bir **iç akıştır**.

Sıkıştırılabilir ve Sıkıştırılamaz Akışlar

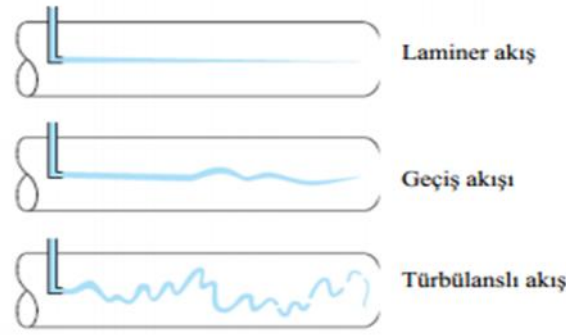
Bir akış, akış süresince akışkanın özgül kütledeki değişim düzeyine bağlı olarak sıkıştırılabilir veya sıkıştırılamaz olarak sınıflandırılır. Yoğunluğu her yerinde neredeyse sabit olan bir akış sıkıştırılamaz olarak kabul edilir. Bu durumda akışkanın her kısmının hacmi hareket ettiği yol boyunca değişmeden kalır. Sıvıların özgül kütleleri genellikle sabittir ve bu yüzden sıvı akışları sıkıştırılamaz. Fakat gaz akışları sıkıştırılamaz olarak modellendiğinde yoğunluk değişiminin ve yapılan yaklaştırma sonucunun düzeyi, $Ma=V/c$ olarak tanımlanan Mach sayısına bağlıdır; burada c deniz seviyesinde oda sıcaklığında havadaki değeri 346 m.s^{-1} olan ses hızıdır. Gaz akışları $Ma < 0.3$ olması halinde sıkıştırılamaz kabul edilebilir.

Laminer ve Türbülanslı Akış

Çok küçük hızlarda akışkanın düzgün ve tabaka şeklinde paralel ve birbirleri üzerinde kayarak akmasına **laminer akış** denir. Bu akış sırasında bir akışkan tabakasından diğerine hız değişmekle birlikte tabakalar birbiri üzerinde kayarak hareketlerini sürdürmektedirler. Laminer akışta en önemli etki akışkanın viskozitesidir. Düşük hızlarda yağ gibi yüksek viskoziteli akışkanların hareketi genellikle laminer akıştır.

Genellikle yüksek hızlarda görülen ve hız çalkantıları ile nitelendirilen çok düzensiz akışkan hareketleri ise **türbülanslı** olarak adlandırılır ve akış içinde ani hız değişimleri gözlenir. Yüksek hızlarda hava gibi düşük viskoziteli akışkanların hareketi genellikle türbülanslıdır. Akış rejimi, akışkanı pompalama için gereken gücü önemli derecede etkiler.

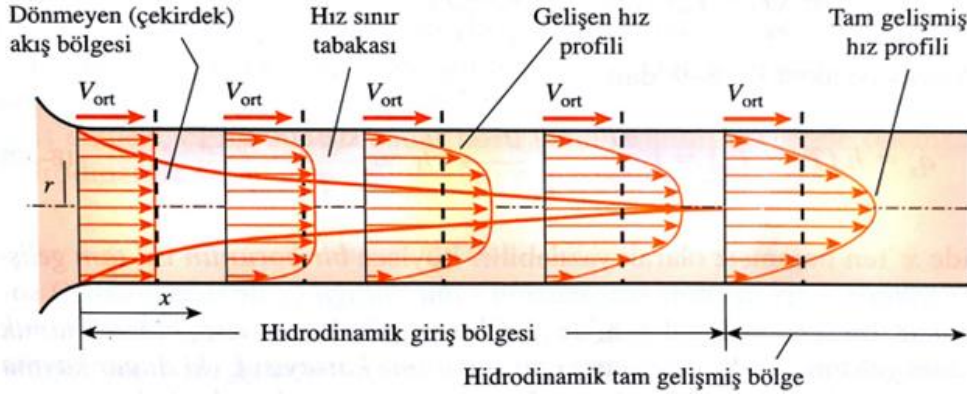
Laminer akıştan türbülanslı akışa geçiş aniden oluşmaz. Bunun yerine bu geçiş, akış tam türbülanslı olmadan önce akışın laminer ve türbülanslı akış arasında değiştiği bazı bölgelerinde meydana gelir. Pratikte karşılaşılan çoğu akış türbülanslıdır. Laminer akışta ise, yağ gibi viskoz akışkanların küçük borular veya dar geçitler içinden aktığı zaman karşılaşılr.



İngiliz bilim adamı Osborne Reynolds'un (1842-1912) bir asırdan fazla zaman önce yaptığı deney ile laminar, geçiş ve türbülanslı akış rejimlerinin varlığını cam boru içindeki akışa boya enjekte ederek doğrulamıştır. Akış laminar iken, boyadan oluşan desenin düşük hızlarda düz ve pürüzsüz çizgi halinde olduğunu, geçiş rejiminde çalkantı patlamaları olduğunu ve akış tam gelişmiş hale geldiğinde ise hızlı ve rastgele zikzaklar oluştuğunu görmüştür. Boyanın bu zikzakları ve yayılımı, ana akıştaki değişimin ve komşu tabakalardan gelen akışkan parçacıklarının hızlı bir şekilde karıştığının göstergesidir.

Tam Gelişmiş Akış ve Giriş Bölgesi

R yarıçaplı bir dairesel boruya akışkanın sabit hızda girdiği kabul edilirse, akışkan yüzeyle temas ettiğinde, sürtünme etkilerinin önem kazandığı ve boru içinde ilerledikçe sınır tabakanın geliştiği gözlenir. Bu gelişme sürtünmesiz akış bölgesinin giderek küçülmesi ve boru ekseninde sınır tabakaların birleşmesiyle sona erer. Bu birleşme noktasından sonra, sürtünme tüm kesit boyunca etkili olur ve hız profili artık x ile değişmez. Bu noktadan sonra akış **tam gelişmiştir**. Girişten bu koşulun gerçekleştiği noktaya kadar olan uzaklık **hidrodinamik giriş uzunluğu** olarak tanımlanır. Hız profilinin geliştiği bölge olduğu için giriş bölgesindeki akış, **hidrodinamik gelişen akış** olarak adlandırılır. Borudaki akışkanın ısıtılmadığı veya soğutulmadığı durumlarda hidrodinamik olarak gelişmiş akış, tam gelişmiş akışa denktir. Çünkü bu durumda akışkanın sıcaklığı baştan sona sabit kalacaktır. Hız profili, laminar akıştaki tam gelişmiş akış bölgesinde parabolik, türbülanslı akışta ise girdap hareketi ve radyal yönde daha kuvvetli karışma sebebiyle bir miktar daha basık veya doludur.



Şekil 4.3.2. Bir boruda sınır tabaka gelişimi

Reynold Sayısı

Laminerden türbülanslı akışa geçiş geometri, yüzey pürüzlülüğü, akış hızı, yüzey sıcaklığı, akışkan türü ve daha birçok şeye bağlıdır. Osborne Reynolds yaptığı ayrıntılı deneylerden sonra, akışın temelde akışkandaki atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranına bağlı olduğunu söylemiştir. Kritik hızın; boru çapına, akışkanın akış hızına, yoğunluğuna ve mutlak (dinamik) viskozitesine bağlı olduğunu bulmuş ve bu dört faktörün bir şekilde gruplandırılabilceğini göstermiştir. Reynolds sayısı akışkanlar mekaniği açısından büyük bir önem taşır ve mühendislik uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılır.

Reynolds sayısı boyutsuz bir sayı olup dairesel borudaki iç akış için aşağıdaki gibi ifade edilir

$$Re = \frac{V_{ort} D}{\nu} = \frac{\rho V_{ort} D}{\mu}$$

D = Borunun çapı (m)

V_{ort} = Ortalama akış hızı ($m.s^{-1}$)

$\nu = \mu/\rho$ = Akışkanın kinematik viskozitesi ($m^2.s^{-1}$)

Laminerden türbülanslı akışa geçişin ayrıca, yüzey pürüzlülüğü, boru titreşimleri ve akıştaki çalkantılar ile tanımlanan akışın düzensizlik derecesine bağlı olduğu görülmüştür. Çoğu pratik şartlar altında dairesel bir borudaki akış;

$Re \leq 2300$ için laminar,

$2300 \leq Re \leq 4000$ için geçiş akışı

$Re \geq 4000$ için türbülanslı akıştır.

Çok pürüzsüz borularda akış düzensizliklerinin ve boru titreşimlerinin engellenmesi halinde çok yüksek Reynolds sayılarında da laminar akı sağlanabilir. Laminar akış bu tür dikkatlice denetlenen deneylerde 100000'e varan Reynolds sayılarında bile sürdürülebilmektedir.

4.3.2. Amaçlar

Bu deneyde yatay boru içerisinde, sıkıştırılamayan bir akışkanın laminar, geçiş rejimi ve türbülanslı akışının gözlenmesi; akış hızı için referans olarak tanımlanan boyutsuz reynolds sayısı ile ilişkilendirilmesi, ilgili hesaplamaların yapılması ve elde edilen sonuçların teorik verilerle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

4.3.3. Materyal ve Metot

- Hidrolik ünite ve düzenek arasındaki hortum bağlantısını yapınız.
- Şeffaf besleme deposunu su ile doldurunuz.
- Mürekkep kabına mürekkep koyunuz.
- Panoda bulunan ana şalteri açınız.
- Düzeneğin boşaltma musluğunu kapatınız ve pompayı çalıştırınız.
- Dikkatli bir şekilde giriş vanasını açınız ve test borusunun tamamen su ile dolmasını bekleyiniz.
- Boşaltma vanasını istenilen akış rejimine göre ayarlayınız ve mürekkep vanasını dikkatli bir şekilde açınız.
- Test borusundaki suyun hızına bağlı olarak akışlar gözlenecektir. Mürekkebin su içinde çizgisel bir yol izlemesiyle laminar akış görülür. Bu durumda $Re \leq 2300$ şartı sağlanır. Mürekkebin su içinde dalgalı, çalkantılı bir yol izlemesiyle türbülanslı akışı gösterir. Bu durumda $Re \geq 4000$ şartı sağlanır. Geçiş akışı ise mürekkebin su içinde çizgisel ve dalgalı arası bir yol izlemesiyle belirlenir. Bu durumda $2300 \leq Re \leq 4000$ şartı sağlanır.
- Akışın hacimsel debisini hesaplamak için, su düzeneğin çıkış borusundan ölçekli bir kaba akıtılacak ve dolan su hacmi süreye bölünecektir.
- Elde edilen deneysel sonuçlar aşağıdaki çizelgeye yerleştirilecektir.

Ek Bilgiler

Boru iç çapı = 0,01 m

Çizelge 4.3.1. Suyun kinematik viskozite değerleri

Sıcaklık (°C)	Viskozite (Pa.s x 10 ⁵)	Kinematik viskozite (m ² .s ⁻¹ x 10 ⁶)
0	179.2	1.792
10	130.7	1.307
20	100.2	1.004
30	79.7	0.801
40	65.3	0.658

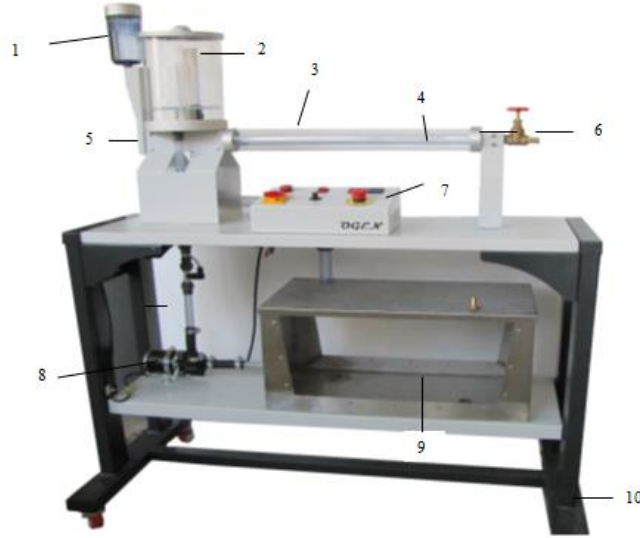
Çizelge 4.3.2. Sonuç Çizelgesi

Deney no	Ölçüm hacmi (m ³)	Süre (s)	Hacimsel debi (m ³ .s ⁻¹)	Hız (m.s ⁻¹)	Re Sayısı	Akışın türü
1						
2						
3						

4.3.4. Kaynaklar

1. Y. A. Çengel, J. M. Cimbala, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, Güven Bilimsel, İzmir, (2012).
2. W.L. McCabe, J.C. Smith, P. Harriott, Unit Operations of Chemical Engineering, Mc Graw Hill, New York, (2005).
3. F. P. Incropera, Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayıncılık, İstanbul, (2003).
4. C. J. Geankoplis, Taşınma Süreçleri ve Ayırma Süreci İlkeleri, Güven Bilimsel, İzmir, (2011).

4.3.5. Deney Sistemi



Şekil 4.3.3. Deney düzeneği

- | | |
|---------------------|----------------------------|
| 1. Mürekkep haznesi | 6. Boşaltma vanası |
| 2. Akış laminatörü | 7. Kontrol paneli |
| 3. Koruyucu tüp | 8. Pompa-motor grubu |
| 4. Reynold tüpü | 9. Şeffaf besleme deposu |
| 5. Mürekkep vanası | 10. Taşıyıcı konstrüksiyon |

4.3.6. Hazırlık Soruları

1. Akışkan nedir?
2. Akış türleri nelerdir? Tanımlayınız.
3. Viskozite nedir? Sıvılar ve katılar için viskozite kavramını açıklayınız.
4. Laminer ve türbülanslı akış mekanizmaları arasındaki farklar nelerdir?
5. Akışkanın hangi rejimde aktığı nasıl belirlenir? Açıklayınız.
6. Reynolds sayısı nedir? Kısaca bilgi veriniz.
7. Kayma gerilimi, hız profili ve sınır tabaka nedir?
8. Tam gelişmiş laminer ve türbülanslı akışta radyal yönde hız dağılım profili nasıl olur?
9. 1030 kg/m^3 yoğunluğunda ve viskozitesi 2.12 cp olan 293 K sıcaklığındaki süt 63.5 mm çapa sahip cam bir borudan 0.605 kg/s akış hızıyla akmaktadır.
 - a) Reynold sayısını hesaplayarak akışın türüne karar veriniz.
 - b) Reynold sayısının 2100 olabilmesi için gereken gereken akış hızını m^3/s olarak hesaplayınız.

4.4 Değişik Numunelerde Lineer Isı Transferinin İncelenmesi

4.4.1 Genel bilgiler

Belirli bir sıcaklık farkından dolayı birim zamanda transfer edilen ısı miktarının hesabı, mühendislik bakımından esas problemdir. Genel olarak, belirli sıcaklık sınırları arasında çalışan ve belirli bir ısı miktarını, verilmiş bir zaman zarfında transfer edebilen bir ısıl sistemin boyutlarının, fiyatının ve yapılabirlik etüdünün hazırlanması ısı transferi analizi ile mümkündür.

İki sistem arasında veya bir sistemle çevresi arasında bir sıcaklık farkı olduğu zaman enerji transfer edilmektedir. Yalnız sıcaklık farkından dolayı bir sisteme transfer edilen bu enerjiye, termodinamikte ısı enerjisi olarak adlandırılmaktadır. Diğer taraftan termodinamiğin ikinci kanununa göre ısı, sıcak bir sistemden daha soğuk bir sisteme doğru akmaktadır.

Fiziki bilimlerin diğer dallarında olduğu gibi ısı transferi problemleri genel doğa kanunlarından hareket edilerek bunlara bazı tarif veya özel kanunlar ilave edilerek formüle edilir. Isı transferi analizlerinin hareket noktası dört doğa kanunu (genel prensip) şunlardır.

1. Termodinamiğin birinci kanunu,
2. Termodinamiğin ikinci kanunu,
3. Kütlenin korunumu kanunu,
4. Newton'un ikinci hareket kanunu.

Literatürde üç çeşit ısı transferi mekanizması tanımlanır:

- 1) Isı İletimi (Kondüksiyon)
- 2) Isı Taşınımı (Konveksiyon)
- 3) Işınım (Radyasyon)

Doğrudan temas ile gerçekleşen ısı transferidir mekanizması **iletim** olarak adlandırılır. İletim parçacıklar arası etkileşimlerin sonucu olarak bir maddenin yüksek enerjili parçacıklarından bitişiklerindeki düşük enerjili parçacıklara enerji aktarılmasıdır. İletim katılarda, sıvılarda ve gazlarda olabilir ancak katılar arasındaki ısı transferi ağırlıklı olarak iletim ile meydana gelmektedir.

Amaçlar

- Katı cisimlerde ısı iletim kavramının incelenmesi ve malzemelerin ısı iletim katsayısının tespit edilmesi.
- Düzgün bir levhada kararlı hal ısı aktarımını belirlemek amacıyla katı madde boyunca ısı aktarımının belirlenmesi için Fourier hız eşitliğinin kullanımının anlaşılması.
- Farklı metal malzemelerin ısıl iletim katsayılarının doğrusal olarak değişimlerinin belirlenmesi ve kıyaslanması.

4.4.2. Materyal ve Metot

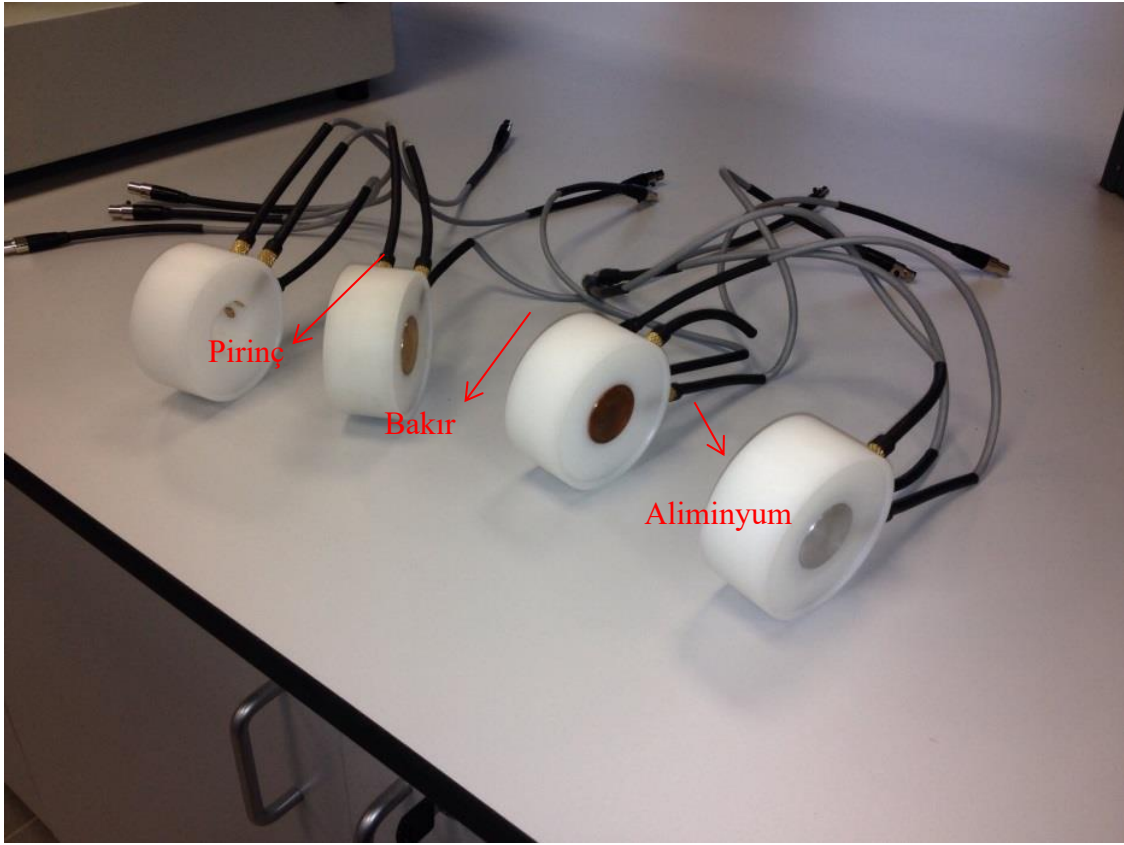
Deney düzeneğinde iletim modülünde bakır, pirinç ve çelik ve paslanmaz çeliklerin ısı iletimi deneyi yapılabilmektedir. Testi yapılacak malzemeler yalıtılmışlardır. 10 adet sıcaklık ölçüm noktası, ısıtma ve soğutma sistemi bulunmaktadır. Sistemde ısıtma işlemi rezistansla yapılmaktadır. Yapılan tüm ölçümler kontrol panelinde dijital olarak gösterilebilmektedir. Kontrol ünitelerinin tamamı kontrol paneli üzerinde bulunmaktadır.

Doğrusal ısı iletim deneyine başlamadan önce ölçülecek malzemeyi deney düzeneğine aşağıdaki şekilde yerleştiriniz ve ayarlayınız.

- a) Isıtıcı olan ana ünitenin anahtarını kapatınız.
- b) Deney parçasını ölçüm ünitesine yerleştirerek vidalı mekanizmayı kapatınız.
- c) Şayet deney için gerekli ise su hortumunu bağlayınız. Doğru sonuç alabilmek için bağlantıları doğru yaptığınızdan emin olunuz.
- d) Su pompasını çalıştırınız ve suyun metal yüzeylere temas etmesi için yaklaşık 1-2 dakika bekleyiniz.
- e) Sıcaklık sensörlerini cihaz üzerindeki sırayla test modülüne bağlayınız.
- f) Ana ünitenin anahtarını açınız ve ısı kontrolünü minimuma getiriniz. Isıtıcının anahtarını açınız.

Deney düzeneğinde ısı kaynağı rezistansdır. Sistem belirli watt değerine ayarlanır ve kararlı hale geldikten sonra panel üzerindeki sıcaklıklar kaydedilir. Deney sırasında alınan bu veriler yardımıyla metal malzemenin ısı iletim katsayısı belirlenir.

- Deneyde elde edilen sıcaklık ve ısı verileri sonuç çizelgesine kaydedilir,
- Fourier yasası kullanılarak malzemelerin ısı iletim katsayıları hesaplanır.
- Standart malzeme için mesafe-sıcaklık eğrisi oluşturulur.



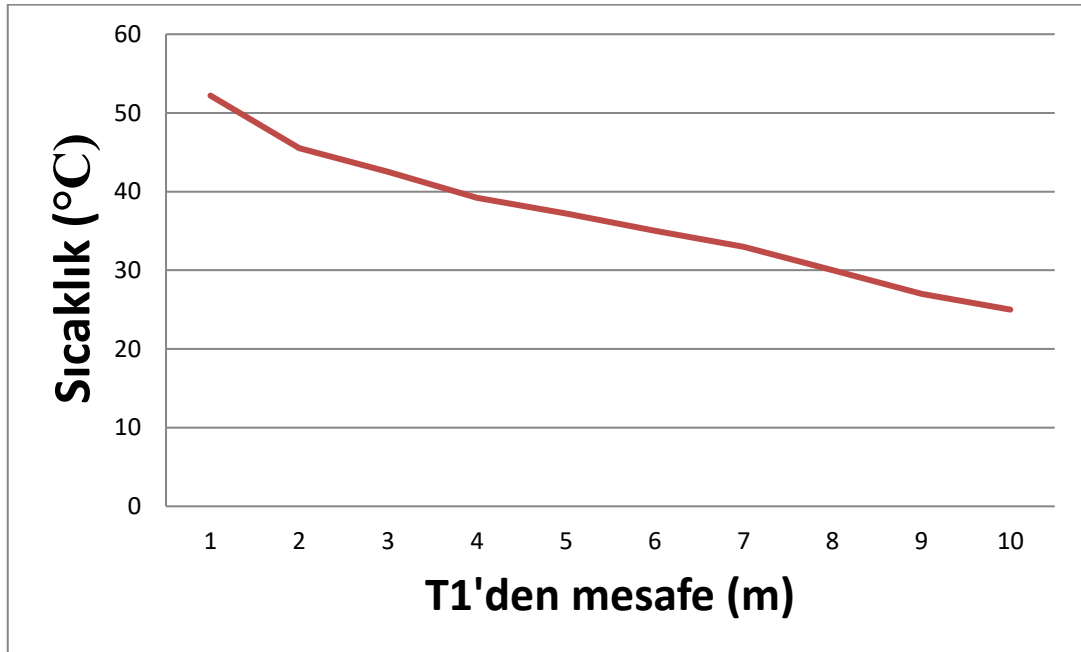
Şekil 4.4.1. Deneyde kullanılan numuneler

Çizelge 4.4.1: Bazı Metal Malzemelere Ait İletkenlikler

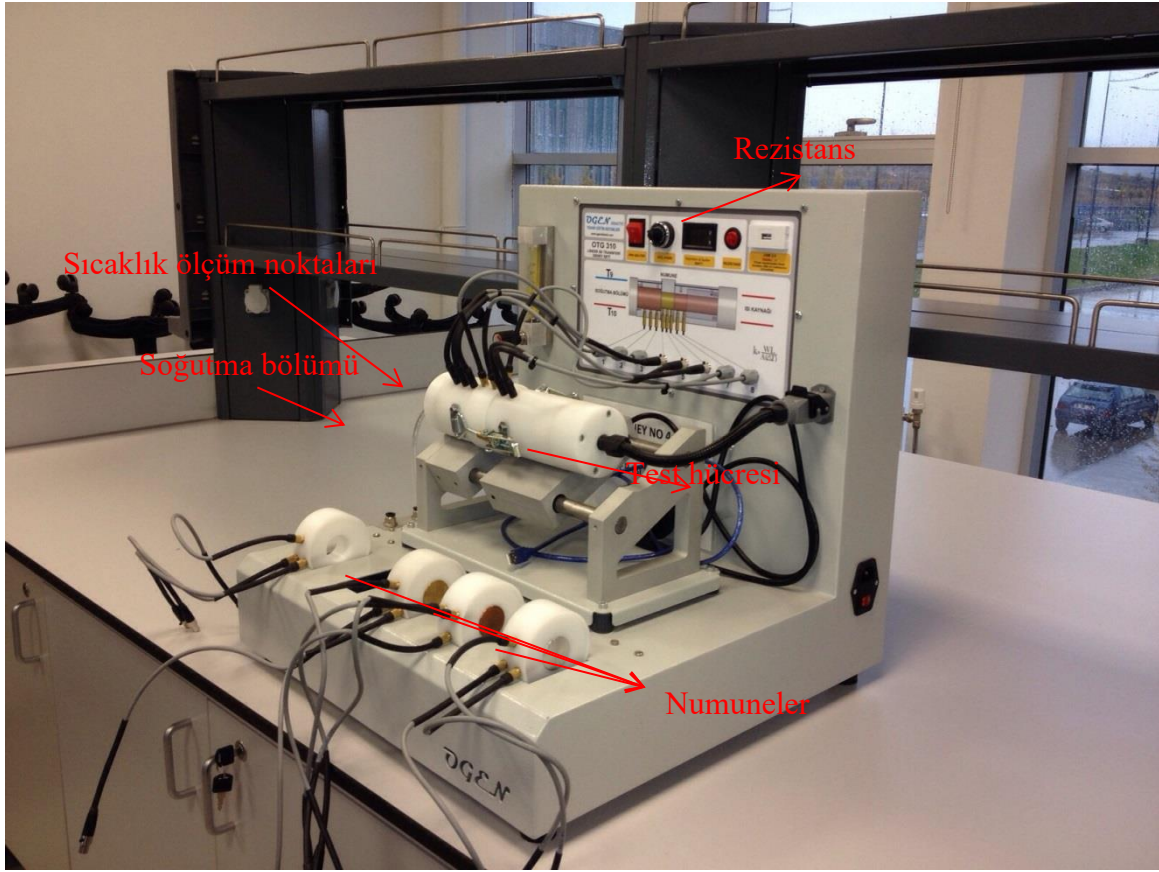
Normal şartlarda malzeme (298 K, 24.85°C)		Tipik ısı iletkenlik (k) W/mK
Metal Malzeme	Saf alüminyum	205-237
	Alüminyum alaşımı (6082)	170
	Pirinç (CZ 121 tipi)	123
	Pirinç (63% bakır)	125
	Pirinç (70% bakır)	109-121
	Saf bakır	353-386
	Bakır (C101 tipi)	388
	Hafif çelik	50
	Paslanmaz çelik	16

Çizelge 4.4.2: Sonuç Çizelgesi

Orta Kısım Malzemesi:										
Ortam Sıcaklığı:										
Güç (W)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀
T ₁ (m) den Mesafe	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18



Şekil 4.4.2. Mesafe-sıcaklık eğrisi



Şekil 4.4.3. Deney Düzeneği

4.4.3. İlgili Eşitlikler

Sıcaklık değişiminden sonra yeterli zamanın geçtiği, ve levha içerisinde sıcaklığın zamanla sabit kaldığı (sürekli rejim) kabul edilerek homojen izotropik (k , herhangi bir nokta etrafında bütün yönlerde aynı) ortam için *Fourier* ısı iletimi kanunu kullanılır. Bu kanun ilk defa Fransız bilim adamı **J. B. Fourier** tarafından 1822 senesinde ortaya atılmıştır. Bu ifade X kalınlığının hareketsiz bir ortamdan meydana gelmiş olması halinde akışkanlar için de uygulanır; yalnız ışıma ihmal ediliyor.

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx}$$

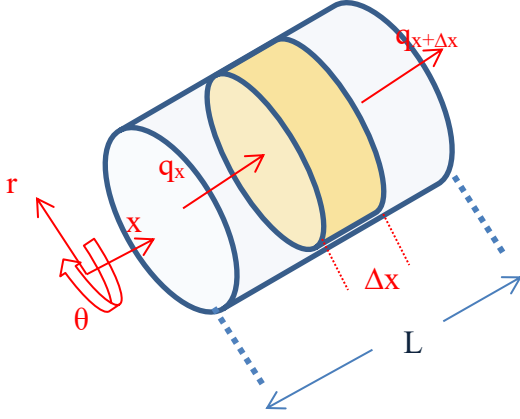
Q_x : x yönünde ve A alanı üzerinden geçen ısı enerjisi miktarıdır.

k : maddeye özgü ısı iletim katsayısı.

4.4.4. Numune Boyunca Sıcaklık Profiline Çıkartılması

Varsayımlar

- Yüzeyler arası sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen ısı aktarımı sadece konum (x) yönündedir.
- Numunenin fiziksel özellikleri sabit alınabilir (ρ , C_p , k).



Belirtilen varsayımlar doğrultusunda silindirik numunedeki Δx kalınlığında hacim elemanında t anında Enerjinin Korunum Yasasına göre enerji deklifi yazılırsa;

$$q \int_x -q \int_{x+\Delta x} = \frac{dQ}{dt}$$

$$q \int_x -q \int_{x+\Delta x} = \frac{\partial(\rho C_p A \Delta x T)}{\partial t}, \text{ Fourier yasası ile:}$$

$$-kA \frac{\partial T}{\partial x} \int_x - \left(-kA \frac{\partial T}{\partial x} \right) \int_{x+\Delta x} = \rho C_p A \Delta x \frac{\partial(T)}{\partial t}, \text{ yatışkın koşul varsayımı ile}$$

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = 0, \quad \text{elde edilir.}$$

$T = C_1 x + C_2$ şeklinde konum boyunca sıcaklık profili elde edilir. Sınır koşulları yardımı ile C_1 ve C_2 bulunabilir (Sınır Koşulu 1: $x=0 \rightarrow T = T_0$, Sınır Koşulu 2: $x=L \rightarrow T = T_L$)

Kaynaklar

Isı ve Kütle Transferi, Yunus A. Çengel,

Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Frank P. Incropera, David P. Dewitt

Hazırlık Soruları

1. İletim, Taşınım ve Işınım ile transfer mekanizmalarını açıklayınız.
2. Fourier yasasını yazınız ve eşitlikteki terimleri açıklayınız.
3. Fourier yasasını düz levha, silindir ve k re için türetiniz.

Simgeler

Q : x yönünde ve bu x yönüne dik A alanı üzerinden geçen ısı miktarı

k : ısı iletim katsayısı

4.5 Doğal ve Zorlanmış Isı Taşınımının İncelenmesi

4.5.1. Genel Bilgiler

Taşınım, bir katı yüzey ile ona bitişik, hareket halindeki sıvı veya gaz arasında enerji aktarım türüdür. İletim ve akışkan hareketinin birleşik etkilerini kapsar. Taşınım ile ısı geçişi doğal ve zorlanmış taşınım olmak üzere iki mekanizmadan oluşmaktadır. Taşınım ile ısı geçişi, akışın türüne göre sınıflandırılır. Akış, bir fan, pompa veya rüzgar gibi dışardan bir etki ile gerçekleşiyor ise **zorlanmış taşınım** meydana gelir. Doğal taşınım da ise akış, akışkan içindeki sıcaklık değişimlerinin neden olduğu yoğunluk farklarından kaynaklanan kaldırma kuvvetleri ile ilişkilidir.

Amaçlar

- Enerji denkliği,
- Zorlanmış ve doğal taşınım,
- Düz yüzey, levha kanatçıklı yüzey, çubuk kanatçıklı yüzey gibi farklı yüzeylerde ısı transferi,
- Reynolds sayısı ve Nusselt sayısı hesaplamaları,
- Taşınım katsayısının hesaplanması.

4.5.2. Materyal ve Metot

Isı taşınımı deney düzeneği, üzerinde bulunan düşey bir hava kanalı ve bu kanala yerleştirilebilen düz levha ve kanatçıklı levhalar şeklindeki ısıtıcı elemanlar yardımıyla havaya taşınım ile ısı geçişinin incelenmesine imkan veren bir dizenektir. Deney düzeneği ve kısımları Şekil 1’de verilmiştir. Düşey kanal üzerine yerleştirilebilen, her birisi elektriksel ısıtmalı; düzlemsel levha, silindirik kanatçıklı levha ve düz kanatçıklı levha şeklinde olmak üzere üç ısı değiştirici ile donatılmıştır (Şekil 2). Düzenekte levha ve kanatçık sıcaklıklarının yanı sıra havanın kanaldaki ortalama hızı ve sıcaklığı da ölçülebilmektedir. Zorlanmış taşınım deneylerinin gerçekleştirilmesi için düşey kanalın çıkışına bir fan yerleştirilmiştir.

4.5.3. Deneyin Yapılışı

A. Zorlanmış ve doğal taşınım enerji denkliği ve yüzey sıcaklıkları karşılaştırılması

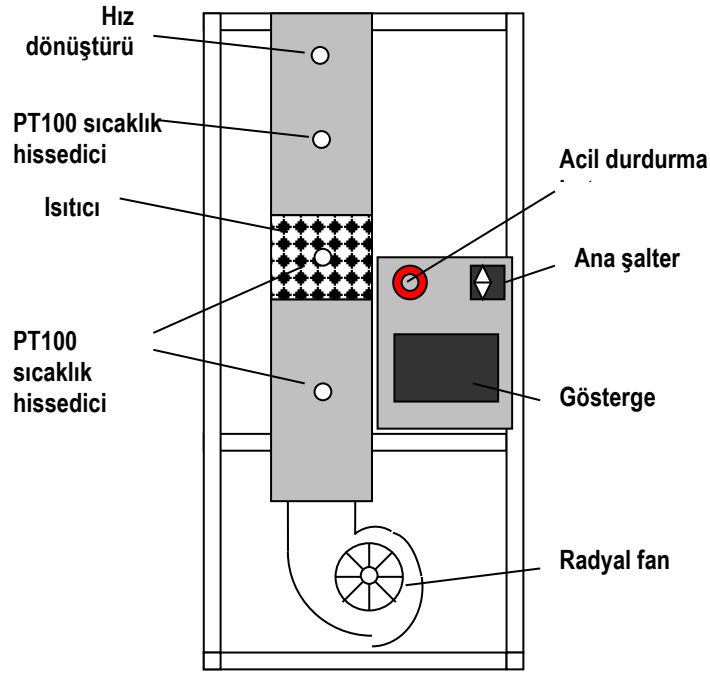
1. Düz levha tipi ısıtıcıyı kolondaki yuvasına yerleştirin ve elektrik bağlantı kablosunu yuvasına takın
2. Ana şalteri açın, ısıtıcıyı ısı yük kontrolü yardımıyla 100 W’a ayarlayın.
3. Sistemin kararlı hale gelmesini bekleyin.
4. Sıcaklıklar dengeli hale geldiğinde aşağıdaki tabloda doğal taşınım kısmına kaydedin.

5. Fan hızını fan hız kontrolü yardımıyla 6 m/s 'e ayarlayın.
6. Sistemin kararlı hale gelmesini bekleyin.
7. Sıcaklıklar dengeli hale geldiğinde aşağıdaki tabloda zorlanmış taşınım kısmına kaydedin.
8. Ana şalteri kapatıp düz levha tipi ısıtıcıyı kolondaki yuvasından sökün.
9. 1-7 adımlarını düzlem kanatçıklı ve çubuk kanatçıklı yüzey için tekrarlayın.

Ölçüm		Doğal taşınım			Zorlanmış taşınım		
		Düz levha	Çoklu düz levha	Çubuklu levha	Düz levha	Çoklu düz levha	Çubuklu levha
Kolon hava giriş sıcaklığı, T_1 [°C]							
Isıtıcı yüzey sıcaklığı	T_{21} [°C]						
	T_{22} [°C]						
	T_{23} [°C]						
Kolon hava çıkış sıcaklığı, T_3 [°C]							
Kolon hava hızı, u [m/s]							
Isıtıcı gücü P [W]							

Hesaplamalar

1. Test bölgesi için enerji denkleğini yazarak her bir durum için havaya aktarılan ısıyı hesaplayın, $\dot{Q} = \dot{m}_h C_{ph} (T_3 - T_1)$.
2. Her bir durum için verim hesaplayın, $\eta = \frac{\dot{Q}}{P}$
3. Her bir durum için $T_2 - T_1$ değerlerini hesaplayın ve sonuçları yorumlayın
4. Kanatçıklı yüzeyler için kanat boyunca mesafeye karşı T_2 sıcaklıklarını grafik olarak gösterin



B. Farklı tip yüzeylerde hıza bağlı olarak ısı taşınım katsayısı ve Nusselt sayısının değişimi

1. Düz levha tipi ısıtıcıyı kolondaki yuvasına yerleştirin ve elektrik bağlantı kablosunu yuvasına takın.
2. Ana şalteri açın, ısıtıcıyı ısı yük kontrolü yardımıyla 100 W 'a ayarlayın.
3. Fan hızını fan hız kontrolü yardımıyla gücü %20 'e ayarlayarak hızı kaydedin.
4. Sistemin kararlı hale gelmesini bekleyin.
5. Sıcaklıklar dengeli hale geldiğinde aşağıdaki tablodaki değerleri kaydedin.
6. 3-5 kademelerini fan güç oranının %30 ve %40 için tekrar edin.
7. 1-7 kademelerini levha kanatçıklı ve çubuk kanatçıklı yüzey için tekrar edin.

Hesaplamalar

1. Her bir durum için ortalama taşınım katsayısını hesaplayın

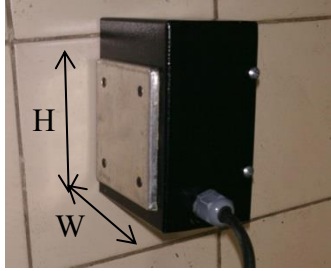
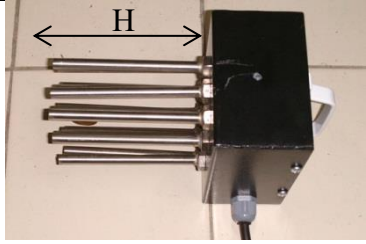
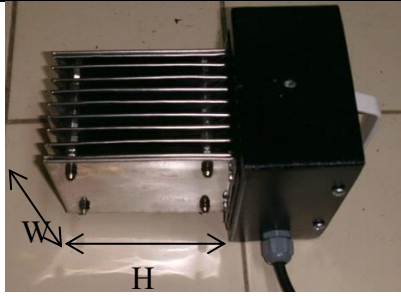
$$\dot{Q} = hA_h \left[T_2 - \left(\frac{T_1 + T_3}{2} \right) \right]$$

2. Nusselt sayısı ve Reynolds sayısını hesaplayın

$$Nu = \frac{hD}{k}, \quad Re = \frac{\rho u D_h}{\mu}$$

3. Nu-Re grafiğini çizin ve yorumlayın.
4. Düz levha için Nusselt sayısını teorik olarak hesaplayıp deneysel sonuçlar ile karşılaştırın.

Şekil 4.5.1 Zorlanmış ve doğal taşınım deney düzeneği

	Düz Levha H=105 mm W=100 mm
	Çoklu çubuk kanatçık H=125 mm D=8 mm Adet=17
	Çoklu levha kanatçık H=125 mm W=100 mm Adet=9

Şekil 4.5.2 Yüzey geometrileri ve boyutları

	Düz levha			Levha kanatçık			Çubuk kanatçık		
Ölçüm									
Kolon hava giriş sıcaklığı, T_1 [°C]									
Isıtıcı yüzey sıcaklığı, T_2 [°C]									
Kolon hava çıkış sıcaklığı, T_3 [°C]									
Kolon hava hızı, u [m/s]									
Isıtıcı gücü P [W]									

4.5.4. Hazırlık Soruları

Öğrenci deneye gelmeden önce ısı transferi kitaplarında zorlanmış ve doğal taşınım bölümlerine hazırlanarak gelmelidir.

1. Kapalı ve açık sistemler için Termodinamiğin 1. Yasası ifadelerini yazın.

2. Prandtl sayısının tanımlayarak, sıcaklık ve basınca bağlı olup olmadığını belirtiniz ve gazlar ve sıvılar için yaklaşık değerlerini yazınız.
3. Hidrodinamik sınır tabakası ve termal sınır tabakası terimlerini tanımlayınız.
4. Tam gelişmiş akış nedir.
5. Taşınım katsayısını tanımlayarak hangi değişkenler bağlı olduğunu belirtiniz.
6. Newton'un soğuma yasasını açıklayınız.
7. Nusselt sayısının tanımlayınız, fiziksel anlamını belirtiniz.
8. Reynolds sayısını tanımlayarak fiziksel anlamını belirtiniz,
9. Grashof sayısını tanımlayarak fiziksel anlamını belirtiniz.
10. Rayleigh sayısını tanımlayarak fiziksel anlamını belirtiniz.
11. Boru içinden akan bir akışkana zorlanmış konveksiyon ile ısı aktarımında Nusselt sayısının hangi boyutsuz gruplara bağlı olduğunu yazınız.
12. Doğal konveksiyon ile ısı aktarımında Nusselt sayısının hangi boyutsuz grupların fonksiyonu olduğunu belirtiniz.

Semboller

A : Kolon kesiti [m^2]

A_h : Isıtıcı yüzeyi [m^2]

C_{ph} : Havanın ısınma ısısı [kJ/kgK] (Ortalama hava sıcaklığı için Tablo EK-1'den alınacaktır)

D_h : Hidrolik çap değeri [m]

$\dot{m}_h$: Hava debisi [kg/s]

ρ : Havanın yoğunluğu [kg/m^3]

u : Ölçülen hava hızı [m/s]

μ : Havanın dinamik viskozitesi [$kg/m.s$]

EK-4.5.1 Havanın atmosferik basınçtaki fiziksel özellikleri ($P_{\text{atm}}=101.325 \text{ kPa}$)

$T \text{ (K)}$	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$c_p \text{ (J/kg}\cdot\text{K)}$	$\mu \text{ (kg/m}\cdot\text{s)}$	$\nu \text{ (m}^2\text{/s)}$	$k \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$	$\alpha \text{ (m}^2\text{/s)}$	Pr
Air							
100	3.605	1039	0.711×10^{-5}	0.197×10^{-5}	0.00941	0.251×10^{-5}	0.784
150	2.368	1012	1.035	0.437	0.01406	0.587	0.745
200	1.769	1007	1.333	0.754	0.01836	1.031	0.731
250	1.412	1006	1.606	1.137	0.02241	1.578	0.721
260	1.358	1006	1.649	1.214	0.02329	1.705	0.712
270	1.308	1006	1.699	1.299	0.02400	1.824	0.712
280	1.261	1006	1.747	1.385	0.02473	1.879	0.711
290	1.217	1006	1.795	1.475	0.02544	2.078	0.710
300	1.177	1007	1.857	1.578	0.02623	2.213	0.713
310	1.139	1007	1.889	1.659	0.02684	2.340	0.709
320	1.103	1008	1.935	1.754	0.02753	2.476	0.708
330	1.070	1008	1.981	1.851	0.02821	2.616	0.708
340	1.038	1009	2.025	1.951	0.02888	2.821	0.707
350	1.008	1009	2.090	2.073	0.02984	2.931	0.707
400	0.8821	1014	2.310	2.619	0.03328	3.721	0.704
450	0.7840	1021	2.517	3.210	0.03656	4.567	0.703
500	0.7056	1030	2.713	3.845	0.03971	5.464	0.704
550	0.6414	1040	2.902	4.524	0.04277	6.412	0.706
600	0.5880	1051	3.082	5.242	0.04573	7.400	0.708
650	0.5427	1063	3.257	6.001	0.04863	8.430	0.712
700	0.5040	1075	3.425	6.796	0.05146	9.498	0.715
750	0.4704	1087	3.588	7.623	0.05425	10.61	0.719
800	0.4410	1099	3.747	8.497	0.05699	11.76	0.723
850	0.4150	1110	3.901	9.400	0.05969	12.96	0.725
900	0.3920	1121	4.052	10.34	0.06237	14.19	0.728
950	0.3716	1131	4.199	11.30	0.06501	15.47	0.731
1000	0.3528	1142	4.343	12.31	0.06763	16.79	0.733
1100	0.3207	1159	4.622	14.41	0.07281	19.59	0.736
1200	0.2940	1175	4.891	16.64	0.07792	22.56	0.738
1300	0.2714	1189	5.151	18.98	0.08297	25.71	0.738
1400	0.2520	1201	5.403	21.44	0.08798	29.05	0.738
1500	0.2352	1211	5.648	23.99	0.09296	32.64	0.735

4.6 Hava Akış Deney Sistemi ile Akış Profiline İncelenmesi

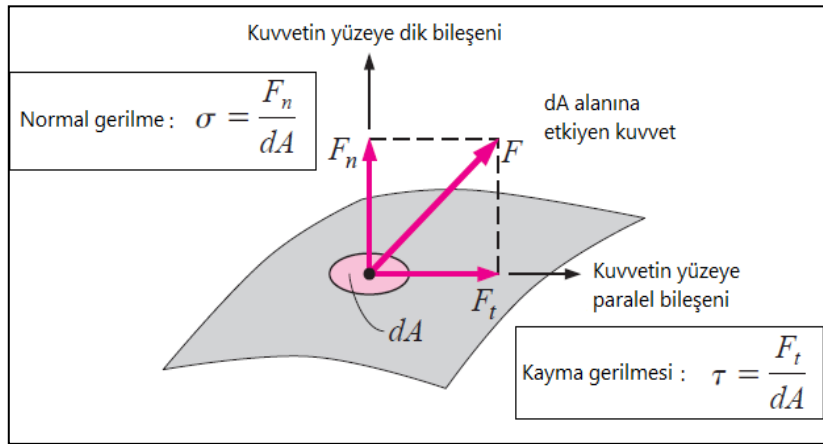
4.6.1. Genel Bilgiler

Akışkan Kavramı

Katılar, elastiklik sınırı aşılmamak kaydıyla, üzerlerine uygulanan çok büyük kayma gerilmelerine bile bir miktar esnemek suretiyle direnç gösterebilen maddelerdir. Kayma gerilmesi ortadan kaldırıldığında eski şekillerine geri dönebilirler. **Akışkanlar** (sıvı ve gazlar) ise, üzerlerine uygulanan kayma gerilmesi ne kadar ufak olursa olsun, bu etki altında sürekli şekil değiştirirler (akırlar), kayma gerilmesi içermeyen bir duruma erişince de tekrar durgun hale geçerler. Kısacası **akışkan**; ufak bir kayma gerilmesine bile mukavemet gösteremeyen ve bu gerilme altında hemen şekil değiştirmeye başlayan, gerilim devam ettiği sürece hareketini koruyan, gerilim ortadan kalkıp yeni bir durgun hale geçtiğinde ise asla önceki haline dönemeyen maddelerdir.

Kayma gerilmesi

Şekil 4.6.1' deki sıvı yüzey elemanına etki eden F kuvvetini inceleyelim.

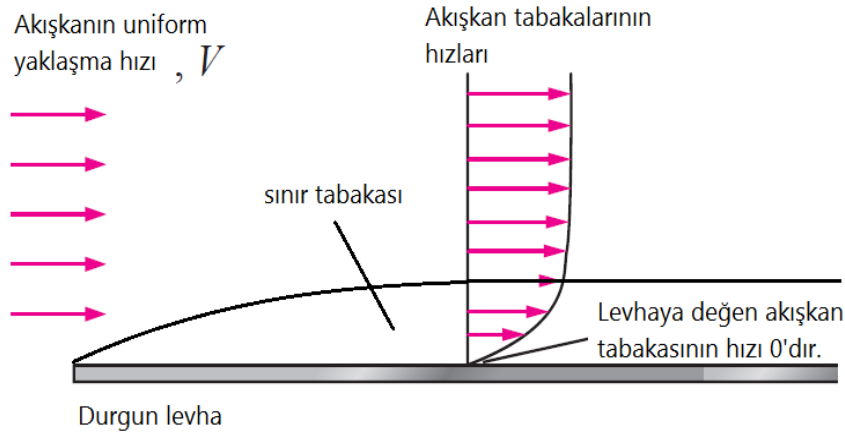


Şekil 4.6.1. Birim akışkan yüzey elemanına etkiyen normal ve kayma gerilmeleri

Bu kuvvetin birim alana etkiyen dik bileşeni **normal gerilme** olarak adlandırılır ve ister durgun ister hareketli olsun, tüm akışkanlarda "**statik basınç**" 'ı oluşturur. F kuvvetinin yatay/teğetsel bileşeni ise **kayma gerilmesi** olarak adlandırılır ve yalnızca akış halindeki akışkanlarda bulunur. Bir başka deyişle, "hareketsiz/durgun/statik" bir akışkan hiç kayma gerilmesi içermez. Çünkü durgun akışkanın içinde bulunduğu kabın çeperleri (örneğin içi su dolu bir sürahinin suyla temas eden cam yüzeyi) kayma gerilmelerini engeller. Bu nedenle çeper ortadan kaldırılacak (mesela sürahinin kırılması) ya da kap eğilecek olursa kayma başlar ve akışkan hareket eder.

Kaymama Koşulu, Sınır Tabaka, Hız Profili, Geçiş Uzunluğu, Tam Gelişmiş Akım

Akışkanları çoğunlukla katı yüzeylerle temas halinde görürüz. Örneğin, bir nehrin yatağıyla temas halinde olması, şehir şebeke suyunun tesisatın içinden geçmesi, havanın uçak kanadıyla temas etmesi gibi. Bu nedenle katı yüzeyin akışı nasıl etkilediğini bilmek önemlidir. Yapılan gözlem ve ölçümler hareket halindeki akışkanların durgun bir katı yüzeyi ile temas edince tamamen durduğunu ve yüzeye göre bağıl hızının sıfır olduğunu göstermiştir. Öyle ki katıya doğrudan temas eden akışkan tabakası, yüzeye adeta “yapışır” ve kayma söz konusu olmaz. Bu durum “**kaymama koşulu**” olarak bilinir.

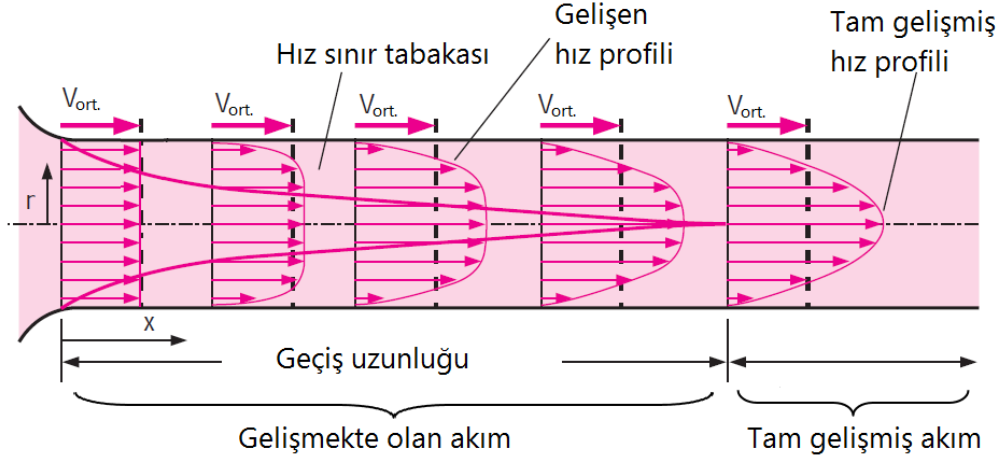


Şekil 4.6.2. Kaymama koşulu ve sınır tabakasının oluşumu

Şekil 4.6.2’de durgun ($V=0$) bir yüzeye uniform V hızıyla yaklaşan ve sonrasında yüzey üzerinden akarak geçen bir akışkanın, kaymama koşulu gereği yüzeyde tamamen durduğu görülmektedir. En alttaki bu durgun akışkan tabakası, viskoz etkiler nedeniyle hemen üzerindeki tabakayı da yavaşlamaya zorlar. Bu eğilim yüzeyden uzaklaştıkça azalarak kaybolur ve akışkanın V hızıyla hareket ettiği akış bölgelerine yeniden ulaşılır. Katı yüzey etkisinin artık hissedilmediği bu akış bölgeleri ile durgun yüzey arasında kalan ve viskoz etkilerin önemli olduğu akışkan bölgesine “**sınır tabaka**” adı verilir. Sınır tabaka içerisinde 0’dan yaklaşma hızına (V) doğru hız profilinin geliştiği gözlenir.

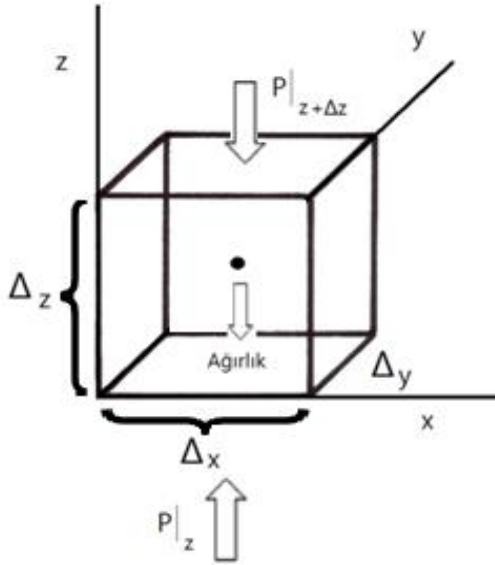
Akışın Şekil 4.6.2’deki gibi bir levha üzerinden değil de Şekil 4.6.3’deki gibi bir boru içerisinde olduğu durumda, kaymamazlık ilkesi gereği boruyla direkt temas halindeki akışkan tabakaları durur ve komşu tabakaları da yavaşlatır. Boruya yakın kısımlarda hızın düşmüş olması, kütleli debiyi korumak adına (kütlenin korunumu gereği akışkanın kütleli debisi sabit kalmak zorundadır) borunun merkezi kısımlarında hızın artmasına neden olur. Sonuç olarak boru içerisinde **hız profili** (hız gradyanı) oluşur ve borunun hemen giriş ucundan başlayan sınır tabakası gelişerek boru merkezine ulaşır. Kararlı halde akış için bundan sonra akış yönünde hız profilinde herhangi bir

değişiklik olmayacaktır. Boru girişinden itibaren, sınır tabaka kalınlığının artarak borunun merkez çizgisi ile birleştiği noktaya kadar olan kısma “geçiş uzunluğu veya giriş uzunluğu / hidrodinamik giriş uzunluğu” denir. Geçiş uzunluğundan sonra hız profili boru boyunca aynı kaldığından bu şartlardaki akışa da “ tam gelişmiş akım” denir.



Şekil 4.6.3. Boruda sınır tabaka oluşumu

Statik Basınç



Şekil 4.6.4. Durgun akışkan hacim elemanı

Şekil 4.6.4’de görülen durgun akışkan hacim elemanına etkiyen kuvvetler basınç kuvvetleri ve elemanın ağırlığıdır. Akış olmadığı için kayma gerilmesi ve kaydırıcı kuvvetler söz konusu değildir.

Eleman sabit ve dengede olduğuna göre ;

$$\Sigma F_x = 0, \quad \Sigma F_y = 0 \text{ ve } \Sigma F_z = 0 \text{ olmalıdır.}$$

Küpe’nin 6 yüzeyi olup 2 yüzeyine x yönündeki basınçlar, 2 yüzeyine y yönündeki basınçlar ve kalan 2 yüzeyine de z yönündeki basınçlar etmektedir.

KURAL: Aynı yatay seviyede bulunan ve tüm uzunluğu aynı akışkan içerisinde kalan bir eğri (mesela ip) ile birleştirilebilen iki noktanın basıncı birbirine eşittir.

Bu kural gereğince x ve y yönündeki basınçlar birbirini dengelemektedir. Bu nedenle analizimizi sadece z yönü üzerinde yapacağız.

(Newton' un 2. Hareket yasası) $\Sigma F_z = m \cdot a_z$ ve $a_z = 0$ olduğu için $\Sigma F_z = 0$

Z yönünde elemana etkiyen kuvvetler;

- ❶ (z) konumundan yukarı doğru etkiyen basınç kuvveti
- ❷ (z+Δz) konumundan aşağı doğru etkiyen basınç kuvveti ve
- ❸ Elemanın ağırlığıdır.

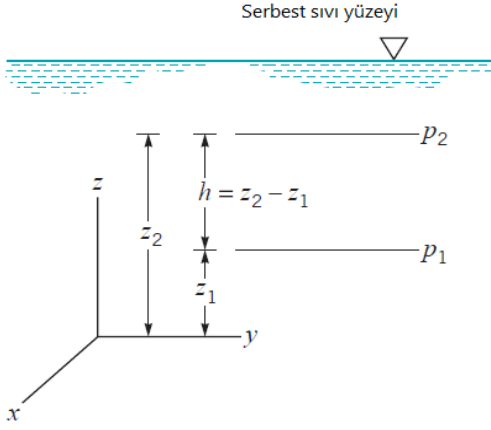
Bilindiği gibi $\text{basınç} = \text{kuvvet} / \text{alan}$ eşitliği ile ifade edilir. O halde z yönündeki küp yüzeylerine etkiyen basınç kuvvetini bulmak için $\text{kuvvet} = \text{basınç} \times \text{alan}$ eşitliğini uygulamalıyız. Kuvvet dengesini yazarsak;

$$\underbrace{p|_z \Delta_x \Delta_y - p|_{z+\Delta z} \Delta_x \Delta_y}_{\text{Basınç kuvvetleri}} - \underbrace{\rho g \Delta_x \Delta_y \Delta_z}_{\text{Ağırlık}} = 0 \quad (\Delta_x \Delta_y \Delta_z \text{ 'e bölüp } \Delta_z \text{ 0' a yaklaşırken limit alalım})$$

$$\underbrace{\lim_{\Delta_z \rightarrow 0} \frac{p|_z - p|_{z+\Delta z}}{\Delta_z}}_{\text{Türevin tanımından}} = \rho g$$

$$\boxed{-\frac{dp}{dz} = \rho g} \text{ elde edilir ve bu denklem } \boxed{\text{AKIŞKAN STATİĞİNİN TEMEL DENKLEMİ}} \text{ olarak adlandırılır.}$$

Akışkan statığının temel denklemi, bir akışkan içerisinde statik basıncın derinlikle değişimini hesaplamak için kullanılır. Akışkanımız sıkıştırılamayan bir sıvı olduğunda yoğunluğu sabit olduğundan ;



$\frac{dP}{dz} = \rho \cdot g$ denkleminde $dP = -\rho \cdot g \cdot dz$ yazılıp integre edilir;

$\int_{P_1}^{P_2} dP = -\rho \cdot g \int_1^2 dz$ integral sınırları yerine yazılırsa;

$(P_1 - P_2) = \rho g (z_2 - z_1)$ elde edilir.

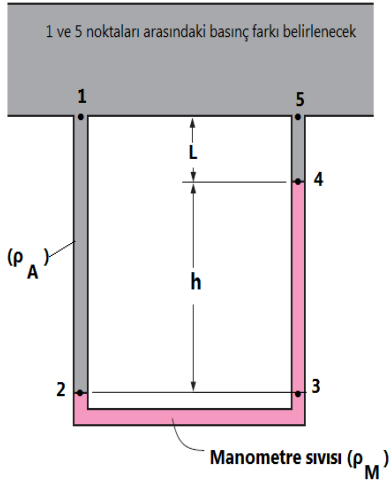
z_1 ve z_2 şekildeki orijin noktasından yukarı doğru ölçülen mesafedir.

Manometre

Durgun ya da akış halindeki bir akışkan içinde bulunan herhangi iki nokta arasındaki basınç farkı manometre yardımıyla okunabilir. En basit manometre, Şekil 4.6.5’de görüldüğü gibi kıvrılmış cam veya plastik bir U borusu içine aşağıdaki özellikleri taşıyan bir manometre sıvısı (su, alkol, yağ, kerosen, civa vs) doldurmak suretiyle elde edilir.

- Manometre sıvısı basıncı belirlenecek akışkanla karışmamalıdır.
- Manometre sıvısı basıncı belirlenecek akışkandan daha yoğun olmalıdır.
- Manometre sıvısı uçucu olmamalıdır - buhar basıncı son derece düşük olmalıdır.
- Büyük basınç farkları belirlenecekse, manometrenin boyutunu kullanışlı bir seviyede tutmak için civa gibi yüksek yoğunluklu bir sıvı tercih edilmelidir.

Manometre ile basınç ölçümü yapmak için kolları basıncı belirlenmek istenen noktalara bağlanır. Bağlanma öncesi her iki kolda aynı seviyede olan manometre sıvısı bağlanma sonrası basıncın yüksek olduğu kolda daha aşağı seviyeye iner; diğer kolda ise yükselir. Şekil 4.6.5’de görülen manometre düzeneği için basınç analizi yapılarak manometre denklemi aşağıdaki gibi elde edilir.



Şekil 4.6.5. Basit U tipi manometre

$$P_2 = P_1 + \frac{g}{g_c} \rho_A (L + h)$$

$$P_4 = P_5 + \frac{g}{g_c} \rho_A L$$

$$P_3 = P_4 + \frac{g}{g_c} \rho_M h$$

KURAL: “2” ve “3” noktaları aynı yatay seviyede bulunduğu ve bu iki nokta, tüm uzunluğu aynı sıvı içerisinde kalan bir eğri ile birleştirilebildiğinden basınçları birbirine eşittir.

$$P_2 = P_3$$

$$P_1 + \frac{g}{g_c} \rho_A (L + h) = P_5 + \frac{g}{g_c} \rho_A L + \frac{g}{g_c} \rho_M h$$

$$P_1 - P_5 = \frac{g}{g_c} (\rho_M - \rho_A) h \text{ Temel manometre denklemi}$$

Basıncı ölçülecek olan akışkan bir gaz gibi düşük yoğunluklu bir akışkan olduğunda ρ_A ihmal edilerek formül aşağıdaki şekilde yazılabilir.

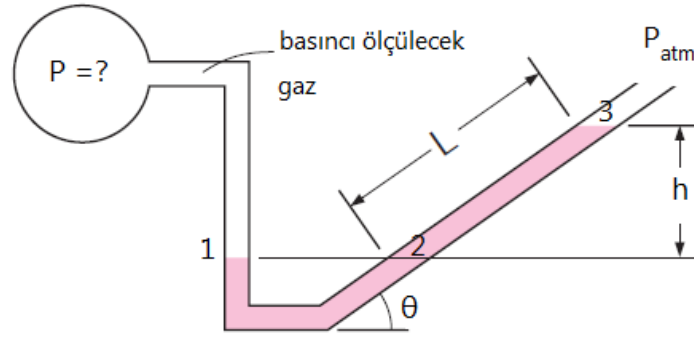
$$P_1 - P_5 = \frac{g}{g_c} \rho_M h \quad \dots \dots \dots (\text{Basıncı ölçülen akışkan gaz olduğunda manometre denklemi})$$

Eğik manometre:

Düşük basınç farklarını ölçmeye yarayan manometre türü olup, kollardan biri yatayla ufak bir açı yapacak şekilde eğilmiştir (Şekil 4.6.6). Manometre sıvısı eğime bağlı olarak düşeyde “h” yükseklik farkını veren hipotenüs uzunluğu (L) kadar yükselir. Açı ne kadar küçükse “L” o kadar uzundur ve manometreyi okumak o denli kolaydır. Böylece okumadan kaynaklanan hatalar minimuma indirilmiş olur ve düşük basınçlarda bile hissedilebilir bir okuma yapılabilir.

Şekil 4.6.6 da görülen küresel tanktaki gazı ele alalım.

- ① Tank merkezi ile “1” noktası arasındaki düşey mesafenin çok az olmasından,
- ② Gazın yoğunluğunun çok düşük olmasından dolayı tank merkezindeki basınç ile 1 noktasındaki P_1 basıncı birbirine eşit kabul edilebilir. “1” noktası ve “2” noktası aynı akışkanla temas eden, aynı yatay seviyedeki iki nokta olduğu için bunların basıncı da birbirine eşittir.



Şekil 4.6.6. Eğik manometre

$$P_{\text{tank}} = P_1 = P_2 \quad \text{ve} \quad P_3 = P_{\text{atm}}$$

$$P_2 = P_3 + \frac{g}{g_c} \rho_M h = P_3 + \frac{g}{g_c} \rho_M L \sin \theta$$

$$P_{\text{tank}} = P_{\text{atm}} + \frac{g}{g_c} L \sin \theta \quad \dots \text{Tankta gaz olduğunda ve manometre atmosfere açıksa}$$

Eğer basıncı belirlenecek akışkan, yoğunluğu ρ_A olan bir sıvı ise ve manometrenin eğik kolu aynı sıvıyla dolu başka bir tanka bağlıysa (manometrenin kolları bu sıvının içinden aktığı bir boruya monte edilmiş de olabilir) aşağıdaki formül kullanılmalıdır.

$$P_{\text{yüksek basınç bölgesi}} - P_{\text{düşük basınç bölgesi}} = \frac{g}{g_c} (\rho_M - \rho_A) L \sin \theta \quad \dots A \text{ sıvısı dolu iki tank arasında}$$

İdeal Bernoulli Denklemi (Mekanik Enerjinin/Doğrusal Momentumun Korunumu)

İdeal Bernoulli denklemi, bir akışkan parçacığının doğrusal bir akım çizgisi boyunca ideal (sürtünme ve tersinmezlik kayıpları yok) ve kararlı halde akışı sırasında **kinetik, potansiyel ve akış enerjilerinin toplamının sabit kaldığını**, daha açık bir ifadeyle; aynı doğrusal akım çizgisi üzerinde bulunan iki farklı noktanın toplam mekanik enerjilerin birbirine eşit olduğunu ifade eder. Bu iki nokta arasındaki akış sırasında mekanik enerjinin farklı formları (akış enerjisi, kinetik enerji, potansiyel enerji) birbirine dönüşebilir ancak ideal akış kabulü gereği sürtünmeyle ısı enerjisiye dönüşüm (mekanik enerji kaybı) yoktur. 1 ve 2, aynı akım çizgisi üzerindeki iki farklı noktayı göstermek üzere;

$$\underbrace{\frac{P_1}{\rho}}_{\text{AKIŞ ENERJİSİ}} + \underbrace{\frac{V_1^2}{2}}_{\text{KINETİK ENERJİ}} + \underbrace{gz_1}_{\text{POTANSİYEL ENERJİ}} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2$$

**SÜRTÜNMESİZ
KARARLI
SIKIŞTIRILAMAYAN
AKIŞ İÇİN
İDEAL BERNOULLİ
DENKLEMİ**

İdeal Bernoulli denklemiindeki her bir terimi ρ (yoğunluk) ile çarpalım;

İdeal Bernoulli denklemi : $\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{sabit}$ (Bir akım çizgisi boyunca)

$$P + \rho \frac{V^2}{2} + \rho gz = \text{sabit}$$

Elde edilen son denklemde her bir terim basınç birimindedir ve farklı bir basıncı temsil etmektedir.

P: Statik basınçtır. Dinamik etkileri içermez. Herhangi bir noktadaki akışkan parçasına, **üzerinde bulunan** akışkan sütunu tarafından veya pompa, kompresör (veya kalp gibi biyolojik bir pompa) gibi elektrik enerjisini akış işine çeviren bir makine tarafından iletilen basınçtır. Akışkanın temas ettiği tüm yüzeylerde hissedilir. Dinamik etkileri içermemesi gerektiğinden değeri ancak, akışkana göre statik kalarak yani akışkanla aynı hızda hareket ederek belirlenebilir. Hepimiz bahçe hortumu ile sulama yapmışızdır. Hortum delindiğinde suyun her yöne fışkırmasını sağlayan ya da elimiz derince kesildiğinde kanın damardan fışkırmasını sağlayan, bu basınçtır.

$\rho V^2/2$:Dinamik basınçtır. Hareket halindeki akışkanın hızından dolayı oluşan ve elimizi hareket halindeki bir arabanın camından dışarı çıkardığımızda hissettiğimiz basınçtır. Akan bir akışkan izentropik olarak (tersinmezlik içermeyecek şekilde) durmaya zorlandığında akışkanda meydana gelen statik basınç artışını ifade eder.

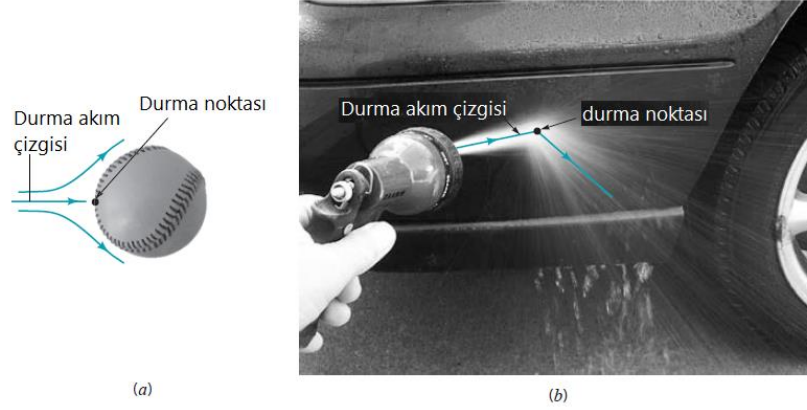
ρgz : Hidrostatik basınçtır. Değeri, seçilen referans düzeyine bağlı olduğundan, aslında tam olarak belirli bir basıncı değil de, akışkan ağırlığının (yüksekliğinin) basınç üzerindeki etkisini gösterir.

Statik, dinamik ve hidrostatik basınçların toplamı, **toplam basınç** olarak adlandırılır. Bu nedenle ideal Bernoulli denklemi, bir akım çizgisi boyunca toplam basıncın sabit kaldığını belirtir.

Durma basıncı

Akışa dik yönde yerleştirilmiş bir yüzeye çarpan akışkanın hızının sıfırlandığı nokta **durma noktası** olarak adlandırılır. Şekil 4.6.7’de durma noktası ve durma akım çizgisi gösterilmiştir. Statik ve dinamik basınçların toplamı **durma basıncı** olarak adlandırılır ve akışkanı durma noktasında izentropik olarak durmaya zorlayan basıncı ifade eder. Herhangi bir noktadaki durma basıncı, aynı derinlik ve konumdaki statik basınçtan daha fazladır. Örneğin, elimizi bileğimize kadar su dolu bir kova içerisine dik olarak daldırınca elimizin yüzeyinde bir basınç hissediyoruz. Su durgun olduğu için hissettiğimiz statik basınçtır. Ama elimizi bileğimize kadar akan bir dereye dik olarak daldırırsak elimizin yüzeyinde daha fazla basınç hissediyoruz. Çünkü elimizin yüzeyindeki her bir nokta akış halindeki suyu durmaya zorlayan birer durma noktasıdır ve bu noktalarda akışkanın hareketinden kaynaklanan tüm dinamik basıncı statik

basınca aktarılır. Dolayısıyla elimizi kovaya daldırdığımız durumda hissettiğimizden daha büyük bir basınç algılarız.

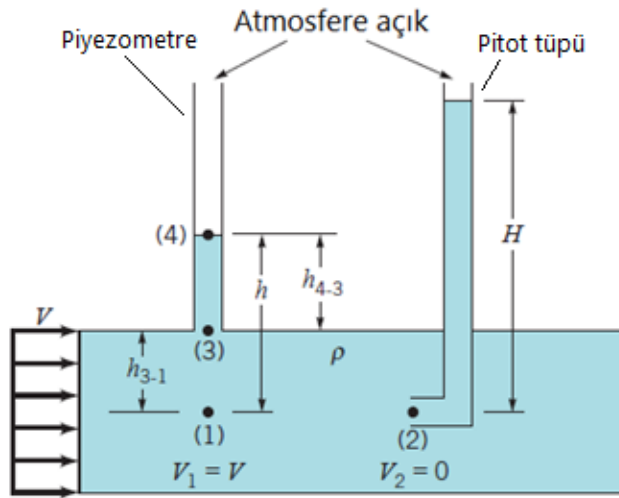


Şekil 4.6.7. Durma noktası ve durma akım çizgisi

Pitot tüpü (Lokal çizgisel hız ölçümü)

Pitot tüpü basitçe lokal çizgisel hız ölçümlerinde kullanılan ve ucu, akış halindeki bir akışkanın durmasını sağlayacak şekilde kıvrılmış bir boru olarak tanımlanabilir. Çalışma prensibi; statik, dinamik ve durma basınçları yardımıyla aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Şekil 4.6.8’ de bir kanal içerisinde akan bir akışkan görülmektedir. Bu kanalın cidarına (3) noktasında **akış doğrultusuna paralel bir delik** (statik basınç deliği) açılarak sıvının yükselebileceği dikey bir boru (piyezometre) monte edildiğinde akışkanın bu boruda (3) noktasının statik basıncı ile orantılı bir sıvı yüksekliğine yükseldiği gözlenir. Akışkan statik basıncının temel denkleminde (1) noktasındaki basınç, (3) noktasındaki basınçtan, $(\rho gh_3 - 1)$ kadar fazladır. (2) noktasının gerisindeki akışa dik yüzeyin akışı durdurmasından dolayı akışkan hızı (2) noktasında sıfırlanmaktadır. Dolayısıyla (2) noktası durma noktasıdır ve bu noktada mekanik enerjinin korunumu ilkesi gereği, akışkanın sahip olduğu kinetik enerji basınç artışına aktarılmaktadır. Bu olguyu matematiksel olarak da ispat etmek için (1) ve (2) arasında ideal Bernoulli denklemini uygularsak;



$$P_4 = P_{atm}$$

$$P_3 = P_4 + \rho g h_{4-3}$$

$$P_1 = P_3 + \rho g h_{3-1}$$

$$P_1 = \rho g h$$

(1) ve (2) arasında Bernoulli uygulayalım

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g h_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + g h_2$$

(2) durma noktası

$V_2 = 0$ ve $h_1 = h_2$ olduğundan

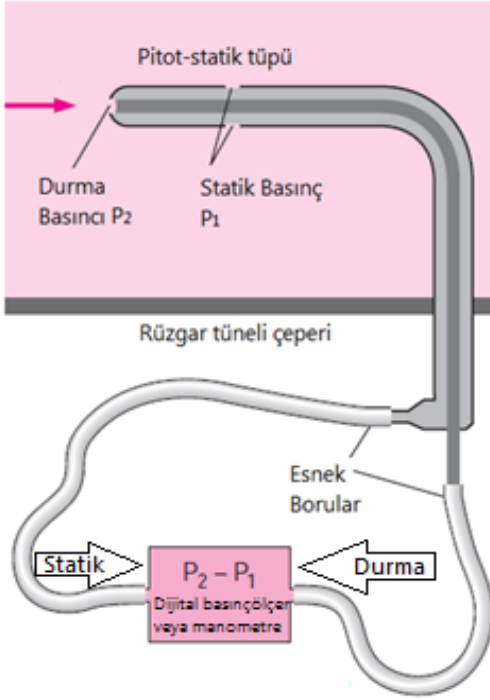
$$P_2 = P_1 + \rho \frac{V_1^2}{2}$$

durgunluk basıncı = statik basınç + dinamik basınç

Şekil 4.6.8. Pitot tüpü ve piezometre

$P_2 = P_1 + (\rho V_1^2/2)$ olduğu görülür. Bu nedenle durma noktasındaki (2 noktasındaki) statik basıncın, (1) noktasındaki statik basınçtan, $(\rho V_1^2/2)$ kadar yani dinamik basınç kadar büyük olduğunu söyleyebiliriz. Durma ve statik basınçlar arasındaki bu ilişkiyi akışkan hızını tespit etmede kullanabiliriz.

$$P_2 = P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} \text{ denkleminde } V_1 \text{ çekilecek olursa } (V_1)_{\text{lokal}} = \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}} \text{ elde edilir.}$$

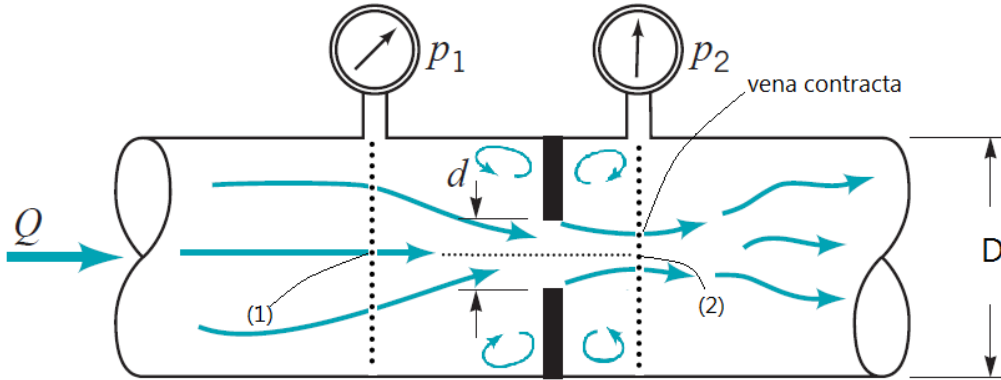


Şekil 4.6.9. Pitot-statik tüpü

Şekil 4.6.8’de görülen pitot tüpü ve piyezometre ayrı ayrı atmosfere açık uçlara sahiptir. Ancak uygulamada pitot tüpleri çoğunlukla aynı anda aynı noktadaki hem statik hem de durma basınçlarını ölçebilmeleri için, statik basınç delikleri içerecek şekilde yapılır. Şekil 4.6.9’da böyle bir **pitot-statik tüpünün** yapısı görülmektedir.

NOT: Basıncın bir şiddet özelliği olup, pitot tüpü üzerinde birden fazla sayıda statik basınç deliği olması manometrede gözlenen P_2 ’nin şiddetini etkilemez.

Orifismetre (Hacimsel Hız Ölçümü, Ortalama çizgisel hız ölçümü)



Şekil 4.6.10. Orifismetre

Boru içindeki hacimsel akış hızının belirlenmesi için kullanılabilecek en basit yöntemlerden birisi de orifismetreden yararlanmaktır. Orifis, ortasında boru iç çapından (D) daha küçük çaplı (d) bir delik bulunan dairesel bir plakadır. Şekil 4.6.10’da görüldüğü gibi D çaplı bir boru içine, akışa dik olacak şekilde d çapında bir orifis levhası yerleştirdiğimizi düşünelim. (1) noktasının bulunduğu kesitte akış rejimi henüz orifisin varlığı nedeniyle bozulmamıştır. Burada akışkan tüm boru kesit alanını kaplamaktadır. Ancak orifise yaklaşıldıkça, akım çizgileri (uçları oklarla gösterilen çizgiler) orifis deliğinden geçmek zorunda olduğundan, ortada toplanacak şekilde birbirlerine yaklaşırlar. Böylece orifis deliğinin üst ve altında bulunan kapalı kısımlarda girdaplar oluşur. Delik geçildikten sonra, akım çizgilerinin ani şekilde yön değiştirememesine bağlı olarak orifis etkisi bir süre daha

devam eder. Yani akım çizgileri, (2) noktasına kadar birbirlerine yaklaşmayı sürdürür. Böylece, akım çizgilerinin oluşturduğu kesit alanı, en küçük değerine orifisten biraz uzaktaki (2) noktasının bulunduğu konumda ulaşır. Bu konuma “**vena contracta**” adı verilir. Daha sonra akış çizgileri yeniden genişleyerek tüm boru kesitini dolduracak şekilde eski hallerine dönerler. Orifisin ön ve arkasındaki tıkalı alanlar akışı sekteye uğratarak girdapların oluşmasına neden olduğu için kalıcı basınç kaybı meydana getirirler. Bu nedenle (1) noktasından (2) noktasına gelen bir akışkanın basıncında düşüş gözlenmesi kaçınılmazdır. Bu teoriyi ispatlamak için (1) ve (2) noktalarının bulunduğu konumlara manometre veya başka bir basınç ölçer monte edilirse, gerçekten de (1) noktasındaki basıncın daha fazla olduğu görülür. Ayrıca akışkan orifisten geçerken, daha dar bir alandan akmaya zorlandığından hızı da artar. Özetle, akışkanın akış enerjisi (P/ρ), kinetik enerjiye çevrilmiş ($\rho V^2/2$); bir başka deyişle (orifis deliği ile akışkan arasındaki sürtünme- h_f ihmal edilmek şartıyla), basınçtaki azalma, hızdaki artışa çevrilmiştir denebilir. (1) ve (2) noktalarının aynı seviyede olduğunu, sistemde pompa ve türbin işi bulunmadığını dikkate alarak, bu iki nokta arasında Bernoulli uygulayalım.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{\alpha V_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{\alpha V_2^2}{2}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{\alpha (V_2^2 - V_1^2)}{2}$$

Kütlenin korunumu prensibinden; vena contractanın çapını orifisin çapına eşit kabul ederek,

$$\rho \times \frac{\pi D^2}{4} \times V_1 = \rho \times \frac{\pi d^2}{4} \times V_2 \text{ yazılır.}$$

d/D oranı “ β ” olarak tanımlanırsa (1) noktasının bulunduğu kesitteki ortalama hız (V_1), (2) noktasının bulunduğu kesitteki ortalama hız (V_2) cinsinden; $V_1 = V_2 \cdot \beta^2$ şeklinde ifade edilebilir.

Bernoulli denkleminde bilinenleri yerlerine yazarsak,

$$V_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \alpha (1 - \beta^4)}} \text{ elde edilir.}$$

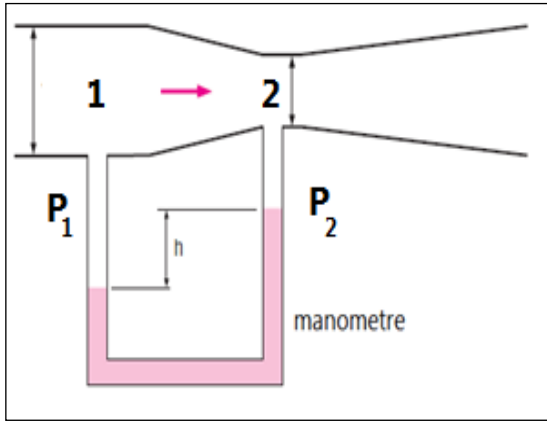
Bu denklem, boru içindeki akışın daraltılması ile oluşan basınç düşüşünden, akışkanın hacimsel debisinin hesaplanabileceğini gösterir. Denklem akışın sürtünmesiz olduğunu ve vena contracta çapının orifis çapına eşit olduğu (gerçekte vena contracta çapı, orifis çapından çok az bir miktar küçüktür) kabulü ile çıkarılmıştı. O halde yukarıdaki denklemi, vena contracta alanına göre tanımlanmış, sürtünmeli, gerçek akışlar için kullanabilmek için denkleme “**orifis katsayısı C_d** ” adında bir düzeltme katsayısı eklemeliyiz. Böylece A_0 orifis deliğinin çapını göstermek üzere, orifisle ölçülen basınç düşüşü yardımıyla akışkanın hacimsel debisi aşağıdaki formülle belirlenir.

$$\dot{Q} = A_0 C_d \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

Hesaplamalarda pratiklik sağlanması için β değeri de çoğunlukla C_d içerisine dahil edilerek **orifis deşarj katsayısı** (C_{od}) tanımlanır ve hacimsel debi aşağıdaki formülle ifade edilir. Orifis deşarj katsayısı yaygın olarak 0,61 alınır.

$$\dot{Q} = A_0 C_{DO} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

Nozul-Nozzle-Lüle (Hacimsel Hız Ölçümü, Ortalama çizgisel hız ölçümü)



Şekil 4.6.11. Nozul

Hacimsel akış ölçümü için kullanılan bir diğer akış ölçer de nozuldur. Orifisde olduğu gibi akışı bir anda bloke etmek yerine kademeli olarak daralttığı için daha hassas hız ölçümü sağlar. Nozuldaki basınç düşüşü yardımıyla hacimsel hız aşağıdaki formülle hesaplanır.

C_{DN} =Nozul deşarj katsayısı (genelde 0,98 alınır)

A_N = Nozul çıkışındaki alan

$$\dot{Q} = A_N C_{DN} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

Basınç Düşüşü, Sürtünme, Sürtünme Faktörü (f)'in Belirlenmesi

Akışkanların bir borudaki akışı sırasında akış yönünde;

- ❶ Birbirine göre bağıl hareket yapan akışkan tabakalarının moleküler düzeyde birbirleriyle ve temas ettikleri katı yüzeyle sürtünmesi (viskoz etkilerden dolayı moleküler sürtünme),
- ❷ Akışkanın ani daralma veya genişlemeye neden olan akış bölgelerinden geçmesi,
- ❸ Akışkanın vana, dirsek vs gibi bağlantı elemanları içinden geçmesi (şekil sürtünmesi)

nedenleriyle basınç düşüşü oluşur. Bu ifadenin tersi de doğrudur. Yani, bir boru içindeki durgun bir akışkanın akmasını sağlamak için, borunun iki ucu arasına belirli büyüklükte bir basınç farkı uygulanmalıdır. Çünkü her akışkan belirli bir viskozluğa (akmazlığa) sahiptir ve akmaya zorlanan bir akışkanın tabakaları arasında, viskozitesiyle orantılı şiddette bir sürtünme meydana gelir. Bu durumun doğal sonucu olarak akışı başlatabilmek için, öncelikle akışkanın iç yapışkanlığından

kaynaklanan bu sürtünme kuvvetini yenmek gerekir. Bir pompa, fan veya kompresör söz konusu sürtünmeyi yenebilmek için ihtiyaç duyulan bu basıncı sağlayabilir ve pompanın gücü (aynı zamanda basınç farkının büyüklüğü); akışkanın ne hızla akmasının istendiğine, viskozluğuna, akması istenen mesafeye bağlı olarak değişir.

Bir akışkanın D çapında ve L uzunluğunda düz ve yatay bir borudan akışı sırasında meydana gelen basınç düşüşü aşağıdaki formülle ifade edilir. V, kararlı halde tam gelişmiş akımda borudaki ortalama hızı, f_{Darcy} ise sürtünme katsayısını gösterir.

$$\Delta P = f_{Darcy} \cdot \left(\frac{L}{D} \right) \cdot \left(\frac{\rho \cdot V^2}{2} \right)$$

Dolayısıyla ρ yoğunluklu bir akışkanın L uzunluğunda ve D çapındaki bir borudan V ortalama hızı ile tam gelişmiş akımı sırasında, borunun iki ucu arasındaki basınç düşüşü (DP) deneysel olarak belirlendikten sonra sürtünme katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$f_{Darcy} = \Delta P \cdot \left(\frac{D}{L} \right) \cdot \left(\frac{2}{\rho \cdot V^2} \right)$$

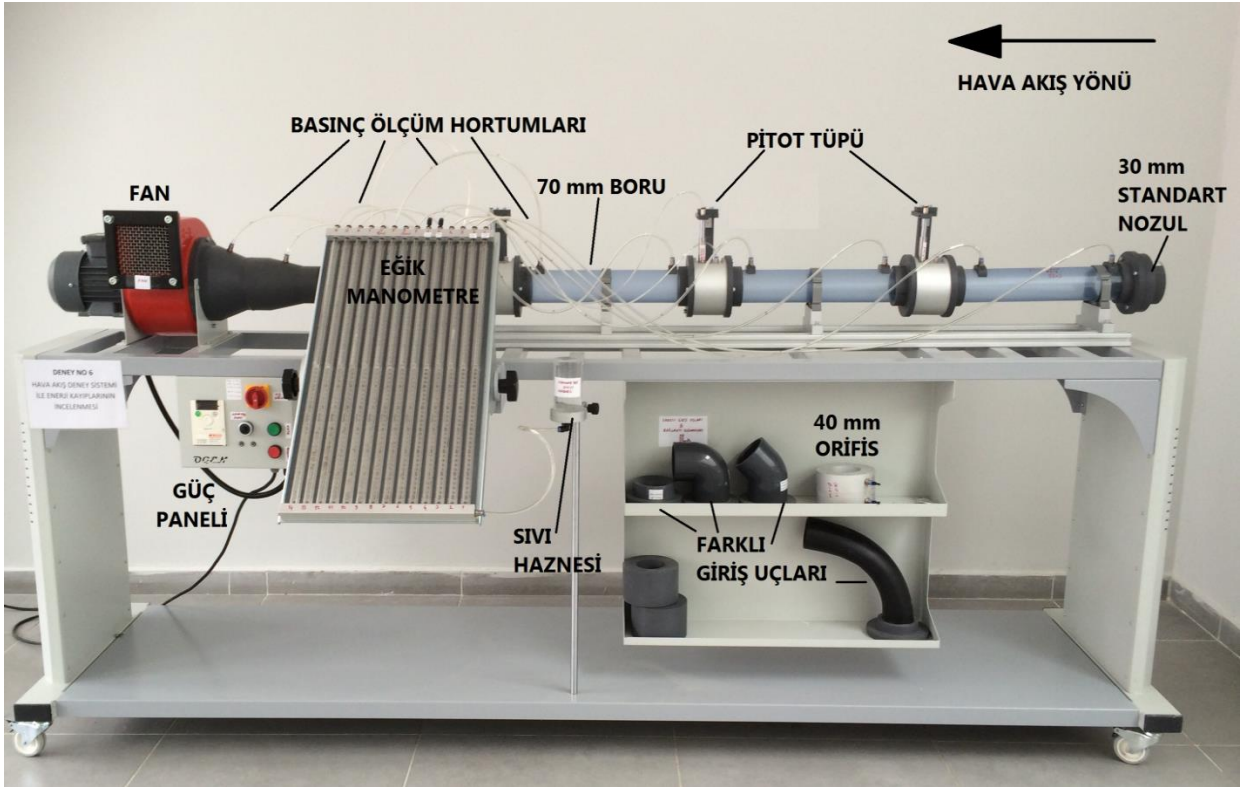
Sürtünme katsayısı tam gelişmiş laminar akım için borunun pürüzlülüğünden bağımsız olup yalnızca Re sayısına bağlıdır ve değeri $f_{Darcy} = (64/Re)$ denklemi ile hesaplanır. Türbülent akışta ise hem Re sayısının hem de borunun bağıl pürüzlülüğünün (ϵ/D) bir fonksiyonu olup değeri ya Moody diagramı yardımıyla okunur ya da Colebrook denklemi, Haaland denklemi, Blasius denklemi gibi denklemlerle hesaplanır. Blasius denklemi aşağıda verilmiş olup Re sayısının 100 000'den küçük olduğu aralıkta $\pm \%5$ doğrulukla sonuç verir.

$$f_{Darcy} = \frac{0,079}{(Re)^{1/4}}$$

4.6.2. Amaçlar

- Hava akışı içeren silindirik bir boru içerisinde pitot tüpü kullanarak lokal hız ölçümleri yapmak, hız profilini çıkarmak ve sınır tabakanın oluşumunu incelemek,
- Orifis metre yardımıyla ortalama çizgisel hız, hacimsel debi ve orifis deşarj katsayısını belirlemek,
- Sütunlu manometre ile basınç ölçümü yapılmasını öğrenmek,
- Statik basınç değerlerinden yararlanarak düzgün boruda sürtünme faktörü (f) hesaplamak.

4.6.3. Deney Düzenneđi ve Deneyin Yapılışı



Şekil 11. Hava Akış Deney Düzenneđi

Cihaz ana bileşen olarak; çelik iskelet üzerine oturtulmuş, 7 cm iç çapında standart, uzun düz bir borudan oluşmaktadır. Borunun bir ucu sabit hızlı bir motor tarafından döndürölen bir fana bağlı olup, diğer ucu atmosfere açıktır. Fan debisi bir akış kontrol sürgüsü ile ayarlanmaktadır. Boru boyunca belli aralıklarla statik basınç ölçümü yapılabilecek istasyonlar (delik) bulunmaktadır. Basınç ölçümleri için eğimi ayarlanabilen bir levha üzerinde yan yana sıralanmış 14 adet manometre tüpünden oluşan ‘**eğik manometre**’ dñzenneđinden faydalanılır. Manometre tüpleri, bir sıvı haznesince dipten beslenmekte olup, içleri manometre sıvısı ile doludur ve tepelerinde istasyonlara takılıp çıkartılabilen esnek hortumlar mevcuttur. 8 ve 10 nolu manometre tüplerine bağlı olan hortumlar herhangi bir istasyonla bağlantılı olmayıp, atmosfere açık bırakılmıştır. Böylece bu istasyonlar atmosfer basıncını gösterirler. Herhangi bir istasyonun gösterge basıncını (statik fark basıncı, $DP = P_{istasyon} - P_{atmosfer}$) belirlemek için, bir uçları manometre tüplerine bağlı; diğer ucu serbest olan esnek hortumların boştaki uçları basıncı belirlenmek istenen istasyona monte edilir ve sıvı seviyesi okunur. Boru üzerinde ayrıca, farklı eksenel pozisyonlara monte edilmiş, tamamı takılıp çıkartılabilir yapıda, 3 adet **pitot tüpü** mevcuttur. Boru kesiti boyunca aşağı-yukarı hareket edebilecek şekilde imal edilmiş olan bu tüpler, bulundukları radyal pozisyonu gösteren, derecelendirilmiş levhalar üzerine monte edilmiştir ve durma basıncına ek olarak, kendisine en yakın noktadaki statik basıncı ölçmeye yarayan birer adet de statik basınç deliği (istasyon)

içermektedir. Pitot tüpleri yardımıyla herhangi bir radyal konumdaki lokal hız belirlenebilir, akış profili çıkartılabilir, gelişmekte olan akım ve tam gelişmiş akım bölgeleri gözlenebilir. Ayrıca borunun ortasına monte edilebilen, takılıp çıkartılabilir özellikte ve 4 cm çapındaki **orifismetre** ile ilgili ölçümler de alınabilir. Deneyin yapılışında aşağıdaki yol takip edilir.

- Cihaz üzerinde bulunan sütunlu manometrenin haznesinde su olup olmadığını ve manometre içerisinde su seviyesinin en az 1/3 oranında dolu olup olmadığını kontrol ediniz. Su eksik ise su haznesine su koyunuz.
- Cihazı topraklı prize takınız ve sonra panoda bulunan ana şalteri açarak cihaza enerji veriniz.
- Fanı çalıştırmak için yeşil renkli start butonuna basınız.
- Fanın dönmeye başlaması için devir anahtarını sağa doğru çeviriniz. Anahtar sağa doğru çevrildikçe fan devrinin arttığını göreceksiniz. Devir anahtarı kullanılarak istenilen hızda ölçümler yapılabilir. Hangi ölçme cihazı ile ölçüm yapılacaksa (orifiz, pitot, 30 mm standart nozul, 50 mm standart nozul vs vs) boru üzerinde o takılı olmalıdır.
- Yapılan ölçümlerde elde edilen sonuçları not ediniz. Deney bittikten sonra devir anahtarını sıfır konumuna alınız ve kırmızı (stop) butonuna basarak fanı durdurunuz. Deneylerle ilgili tüm işlemler bittikten sonra ana şalteri kapatınız.

1- Pitot Tüpü deneyi: Fan 10 Hz akış hızına ayarlanır. 3 farklı eksenel pozisyonda bulunan pitot tüplerinin farklı radyal konumları için manometre okumaları kaydedilir. Aynı zamanda pitot tüplerine sağdan en yakın konumdaki statik basınç istasyonlarının manometre okumaları da kaydedilir Bir pitot tüpü ile ölçüm yapılırken diğerleri cidara yaslandırılır ve ölçüm delikleri tıpalarla kapatılır. Pitot tüpü okumalarından durma basınçları, piyezometre okumalarından da statik basınçlar hesaplanır ve pitot tüpü denklemi* yardımıyla lokal hız değerleri hesaplanarak lokal hızın radyal konumla değişimi grafiğe geçirilir. Böylece sınır tabakasının oluşumu, gelişmekte olan akım ve tam gelişmiş akım bölgeleri gözlemlenebilir.

Pitot tüpünün boru merkezinden uzaklığı (mm)	Durma basıncı için manometre okuması, mmsu Statik basınç için manometre okuması, mmsu					
	3 nolu pitot		2 nolu pitot		1 nolu pitot	
	P	S	P	S	P	S
0 (merkez)						
10						
20						
30						
35 (cidar)						

P: Pitot tüpü okuması/Durma basıncı, S= Piyezometre okuması/ Statik basınç

$$*V_{\text{lokal}} = \sqrt{\frac{2(P_{\text{durma}} - P_{\text{statik}})}{\rho_{\text{hava}}}} = \sqrt{\frac{2(h_{\text{durma}} - h_{\text{statik}}) \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot \rho_{\text{manometre}}}{\rho_{\text{hava}}}}$$

2- Orifis deneyi: 3 nolu pitot tüpü çıkarılıp yerine orifiz takılır. Fan hızı 20 Hz' e ayarlanır. Eksenel yöndeki istasyonların manometre okumaları not edilir ve aşağıdaki tablo doldurulur. Bu prosedür 30, 40 ve 50 Hz fan hızları için de tekrarlanır. 3 fan hızı için atmosferle olan basınç farkı değerleri hesaplanarak (8 ve 10 nolu istasyonlar atmosfere açık olup, x istasyonu için atmosferle olan basınç farkı aşağıdaki denklemle hesaplanır) eksenel mesafeye karşı grafiğe geçirilir ve orifizin basıncı nasıl etkilediği gözlemlenir.

$$DP_x = \left[h_x - \left(\frac{h_8 + h_{10}}{2} \right) \right] g \cdot \rho_{\text{manometre}} \cdot \sin \alpha$$

Ölçüm alınan nokta	Manometre okumaları (mmsu)			
	1. Fan Hızı 20 Hz, 2.8 (m/s)	2. Fan Hızı 30 Hz, 4.5 (m/s)	3. Fan Hızı 40 Hz, 6.4 (m/s)	4. Fan Hızı 50 Hz, 8 (m/s)
1 (Nozul çıkışı)				
2				
3				
4				
7				
8 (P _{atm})				
9 (Orifiz girişi)				
10 (P _{atm})				
11 (Orifiz çıkışı)				
12				
13				
14				

Orifis katsayısını hesaplamak için hacimsel debiyi bilmemiz gerekir. Bunun için cihaz üzerinde verilen ve her bir fan hızına karşılık gelen çizgisel hız değerleri ve standart borunun çapı olan 70

mm değerinden faydalanılarak hacimsel akış hızı belirlenir. Çalışılan şartlarda hava sıkıştırılmayan akışkan kabul edilebilir. Dolayısıyla kütle korunumu kanunu gereği $Q_{\text{boru girişi}} = Q_{\text{orifiz}}$ yazılabilir. Orifiz giriş ve çıkışında meydana gelen basınç düşüşünden (DP_o) ve aşağıda verilmiş olan orifiz denkleminde faydalanılarak orifiz katsayısı hesaplanır ve teorik 0,61 değeri ile karşılaştırılır.

$$Q_{\text{boru girişi}} = V_{\text{çizgisel hız}} \cdot A_{70\text{mm standart boru}} = V_{\text{çizgisel hız}} \cdot \left(\frac{\pi}{4}\right) (0.07)^2$$

$$Q_o = A_o \cdot C_{DO} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_o}{\rho_{\text{hava}}}} = \left(\frac{\pi}{4}\right) (0.04)^2 \cdot C_{DO} \cdot \sqrt{\frac{2 (h_{\text{orifis girişi}} - h_{\text{orifis çıkış}}) \cdot g \cdot \rho_{\text{manometre}} \cdot \sin \alpha}{\rho_{\text{hava}}}}$$

Borudan geçen havanın hacimsel debisini hesaplamak için boru girişine monte edilebilen 30 mm çaplı standart nozuldan da faydalanabiliriz. Nozul girişi atmosfere açık olup giriş basıncı atmosfer basıncına eşittir. Nozul çıkışındaki basınç ise 1 nolu istasyonun statik basıncına eşittir. O halde boru girişinde nozul varlığından kaynaklanan basınç düşüşü DP_N olup aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$DP_{\text{nozul}} = \left[h_1 - \left(\frac{h_8 + h_{10}}{2} \right) \right] g \cdot \rho_{\text{manometre}} \cdot \sin \alpha$$

DP_N yardımıyla hacimsel debi aşağıdaki gibi hesaplanır. Nozul deşarj katsayısı 0.41'dir.

$$Q_{\text{nozul}} = A_N \cdot C_{DN} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_N}{\rho_{\text{hava}}}} = \left(\frac{\pi}{4}\right) (0.03)^2 \times 0.41 \times \sqrt{\frac{2 [h_1 - (h_8 + h_{10}/2)] \cdot g \cdot \rho_{\text{manometre}} \cdot \sin \alpha}{\rho_{\text{hava}}}}$$

3- Sürtünme katsayısı hesaplama deneyi:

Fan hızı en düşük seviyeye alınır. Hacimsel debi ve Re sayısı hesaplanır. Rasgele seçilen a ve b gibi iki noktaya (mesela 7 ve 13 istasyonları) ait manometre okumaları not edilir ve basınç farkı ($DP_{a-b} = p_a - p_b$) a ve b noktaları arasında sürtünmeden dolayı meydana gelen basınç düşüşü) hesaplanır. a ve b noktaları arasındaki yatay mesafe (L) ölçülür. Aşağıdaki denklemde bilinenler yerlerine yazılarak sürtünme katsayısı hesaplanır.

$$f_{\text{Darcy}} = \Delta P_{a-b} \cdot \left(\frac{D}{L}\right) \cdot \left(\frac{2}{\rho \cdot V_{\text{ort}}^2}\right)$$

Akış laminer ise $f = (64/Re)$ denkleminde, türbülent ise $f_{\text{Darcy}} = \frac{0.079}{(Re)^{1/4}}$ denkleminde faydalanılarak teorik f değerleri hesaplanır ve deneysel olarak bulunanlar ile karşılaştırılır.

Bu prosedür diğer 4 fan hızı için de tekrar edilir.

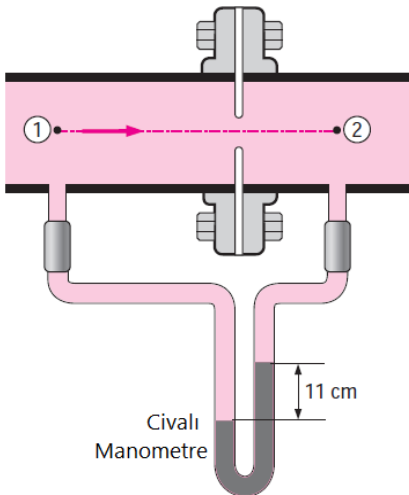
Ölçüm alınan nokta	Manometre okumaları (mmsu)				
	1. Fan Hızı	2. Fan Hızı	3. Fan Hızı	4. Fan Hızı	5. Fan Hızı
a: nolu istasyon					
b:nolu istasyon					

KAYNAKLAR

5. Y. A. Çengel, J. M. Cimbala, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, Güven Bilimsel, İzmir, (2012).
6. O. F. Genceli, Ölçme Tekniği (Boyut, Basınç, Akış ve Sıcaklık Ölçmeleri), Birsan Yayınevi, (2012).

Hazırlık Soruları

1. Akışkan kavramını açıklayınız. Katılar ile akışkanların en temel farkını belirtiniz.
2. Kayma gerilmesini tanımlayınız ve Newton viskozite yasası ile ilişkilendiriniz.
3. Kaymama koşulu ve sınır tabakası kavramlarını açıklayınız.
4. Sınır tabakası, hız profili, gelişmekte olan akım, tam gelişmiş akım, geçiş uzunluğu kavramlarını şekil çizerek açıklayınız.
5. Statik basıncı tanımlayınız ve akışkan statığının temel denklemini çıkarınız.
6. Akışkan statığının temel denklemini kullanarak sıkıştırılamayan bir akışkan içinde basıncın derinlikle değişimini veren formülü elde ediniz.
7. Manometre nedir? Manometre sıvısında aranan özellikler nelerdir?
8. Şekil çizerek basınç ölçümü için kullanılan temel manometre denklemini elde ediniz.
9. Eğik manometre denklemini şekil çizerek elde ediniz.
10. Sıkıştırılamayan, sürtünmesiz akış için ideal Bernoulli denklemini yazarak, herbir teriminin hangi enerjiyi temsil ettiğini açıklayınız.
11. Statik, dinamik, hidrostatik basınç terimlerini açıklayınız.
12. Durma basıncı, durma noktasını terimlerini açıklayınız.
13. Pitot tüpü nedir? Ne için kullanılır?
14. Şekil çizerek pitot tüpü ile lokal hız ölçümünde kullanılan formülü çıkarınız.
15. Orifis nedir? Ne için kullanılır?
16. Şekil çizerek orifis ile ortalama hız ölçümünde kullanılan formülü çıkarınız.
17. Borularda akış sırasında gözlenen basınç düşüşünün nedenlerini açıklayınız.
18. Moody diagramı nasıl kullanılır? Temsili bir diagram üzerinde açıklayınız.
19. Borularda akış için hacimsel debi, ortalama hız, lokal hız terimlerini açıklayınız?
- 20.



Yandaki şekilde görülen 4 cm çaplı borudan akan 20 °C'deki metanolün hacimsel debisi civalı manometre ile donatılmış, 3 cm çaplı bir orifis ile ölçülecektir. Manometre üzerindeki yükseklik farkı 11 cm olarak ölçüldüğüne göre metanolün debisini ve ortalama hızını hesaplayınız.

$$(\rho_{\text{metanol}} = 788,4 \text{ kg/m}^3, \mu_{\text{metanol}} = 5,857 \times 10^{-4} \text{ kg/(m.s)}, \rho_{\text{civa}} = 13600 \text{ kg/m}^3)$$

4.7 Boru Hatlarında Sürtünme ve Enerji Kayıplarının İncelenmesi

4.7.1. Genel Bilgiler

Akışkanların taşınmasını da boru sistemleri önemli bir yer tutar. Akışkan yolu boyunca boru sisteminin kesiti veya bir referans noktasına nazaran yüksekliği değişebilir. Bir akım hattında iki nokta için mekanik enerji denkliği aşağıda verilen genel Bernoulli denklemi ile ve birim sistemine bağlı olarak çeşitli şekillerde ifade edilir.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{\alpha V_1^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} h_1 + \eta W_p = \frac{P_2}{\rho} + \frac{\alpha V_2^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} h_2 + \sum h_{kayıp}$$

SI sisteminde $g_c = 1$ (birimsiz) olduğu için;

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{\alpha V_1^2}{2} + g h_1 + \eta W_p = \frac{P_2}{\rho} + \frac{\alpha V_2^2}{2} + g h_2 + \sum h_{kayıp}$$

Olur. Bu eşitlikteki herbir terimin birimi (J/kg)'dır.

Borulardan akan sıkıştırılamayan akışkanların akımı için kütleli debi gibi hacimsel debi de korunur ve bir akım hattı için aşağıdaki denklemler de geçerlidir:

$$Q = V_1 x A_1 = V_2 x A_2$$

Sürtünme Kayıpları

Bir boru şebekesindeki sürtünme kayıpları 3 sebepten oluşur;

1. Toplam boru şebekesi boyunca viskoz kuvvetlerden ileri gelen kayıplar (viskoz kayıplar)
2. Boru şebekesindeki; vana, dirsek, bükülme gibi yerel etkilerden ileri gelen kayıplar (şekil kayıpları)
3. Ani daralma ve genişleme kayıpları

Toplam kayıplar bu gruplardaki kayıpların toplamı kadardır. Karmaşık bir devrede birbirine komşu elemanların karşılıklı olarak birbirlerini etkilemeleri nedeniyle toplam kayıp, ayrı ayrı her bir eleman için hesaplanmış kayıpların toplamından farklı olabilir.

1. Düz Borudaki Sürtünmeden İleri Gelen Kayıplar

Çapı (D) olan “L” uzunluğundaki düzgün bir boruda sürtünme kaybı aşağıdaki ifade ile bulunabilir.

$$h_{\text{sürtünme kayıpları}} = h_{f_2} = 4f_{\text{anning}} \frac{L}{D} \frac{V_{ort}^2}{2g}$$

Veya

$$h_{f_2} = f_{B-darcy} \frac{L}{D} \frac{V_{ort}^2}{2g}$$

$$f_{B-darcy} = 4f_{\text{anning}}$$

Burada “f” sürtünme faktörü boyutsuz bir sabit olup değeri hem Reynolds sayısına hem de boru iç yüzeyindeki pürüzlülük miktarına (türbülent akımda) bağlıdır.

2. Yerel Etkilerden İleri Gelen Kayıplar

a) Bükülmelerden İleri Gelen Kayıplar

Bükülmeler dolayısıyla sürtünme kayıpları aşağıdaki ifade ile bulunabilir.

$$h_B = K_B \frac{V_{ort}^2}{2g}$$

Burada K_B katsayısı bükülme yarıçapı/ boru yarıçapı oranına ve bükülme oranına bağlı bir sabittir. Bu ifadeyle hesaplanan kayıp, bükülmedeki toplam kayıp olmayıp, bükülmedeki boru eksenine uzunluğuna eşit düz borudaki sürtünme kaybına ilave kayıptır.

b) Vanalardan İleri Gelen Kayıplar

Vanalar dolayısıyla sürtünme kayıpları aşağıdaki ifade ile bulunabilir.

$$h_L = K_V \frac{V_{ort}^2}{2g}$$

Buradaki K katsayısı vana tipine ve açıklık derecesine bağlıdır.

3. Akış Kesitindeki Ani Değişmelerden İleri Gelen Kayıplar

- a) **Ani Genişleme Kayıpları:** Ani genişleme dolayısıyla sürtünme kayıpları aşağıdaki ifade ile bulunabilir.

$$h_L = \frac{V_{ort}^2}{2g}$$

$$\text{Veya } h_L = K_g \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

- b) **Ani Daralma Kayıpları:** Ani daralma dolayısıyla sürtünme kayıpları da ani genişleme de olduğu gibi aşağıdaki ifade ile bulunabilir.

$$h_L = K_d \frac{V_{ort}^2}{2g}$$

Buradaki K_g ve K_d sabitleri A_2/A_1 (dar/geniş) kesitlerin oranına bağlıdır. Bu amaçla genişleme veya daralma katsayıların gösteren grafikler de kullanılabilir.

Pürüzlü Borudaki Sürtünmeden İleri Gelen Kayıplar ve Basınç Düşüşü

Pürüzlü borudaki sürtünme kaybının ölçülebileceği düzenek kesimi şekilde gösterilmiştir. Bu kesim için $k/D = 0,033$ ve $L/D = 7,78$ 'dir.

Akışkanların bir borudaki akışı sırasında akış yönünde; birbirine göre bağıl hareket yapan akışkan tabakalarının moleküler düzeyde birbirleriyle ve temas ettikleri katı yüzeyle sürtünmesi, akışkanın ani daralma veya genişlemeye neden olan akış bölgelerinden geçmesi, akışkanın vana, dirsek gibi bağlantı elemanları içinden geçmesi nedenleriyle basınç düşüşü olur. Bu ifadenin tersi de doğrudur. Yani, bir boru içindeki durgun bir akışkanın akmasını sağlamak için, borunun iki ucu arasına belirli büyüklükte bir basınç farkı uygulanmalıdır. Çünkü her akışkan belirli bir viskozluğa (akmazlığa) sahiptir ve akmaya zorlanan bir akışkanın tabakaları arasında, viskozitesiyle orantılı şiddette bir sürtünme meydana gelir. Bu durumun doğal sonucu olarak akışı başlatabilmek için, öncelikle akışkanın iç yapışkanlığından kaynaklanan bu sürtünme kuvvetini yenmesi gerekir. Bir pompa, fan veya kompresör söz konusu sürtünmeyi yenebilmek için ihtiyaç duyulan bu basıncı sağlayabilir ve pompanın gücü (aynı zamanda basınç farkının büyüklüğü); akışkanın ne hızla akmasının istendiğine, viskozluğuna, akması istenen mesafeye bağlı olarak değişir.

Sürtünme dolayısıyla basınç kaybı için

$$\Delta P = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{\rho V^2}{2} \right)$$

yazılabilir. Buradaki "f" Fanning sürtünme faktörüdür. Akım laminar ise $f = 16/Re$ yazılabilir. Bunun 4 katına "Blasius-Darcy Sürtünme Faktörü" adı verilir ve $f_{B-darcy}$ ile gösterilir. Burada sürtünme katsayısı tam gelişmiş laminar akım için borunun pürüzlülüğünden bağımsız olup yalnızca Re sayısına bağlıdır ve değeri $f_{B-darcy} = 64/Re$ denklemi ile hesaplanır. Türbülans akışta ise hem Re sayısının hem de borunun bağıl pürüzlülüğünün (ϵ/D) bir fonksiyonu olup değeri ya Moody diagramı yardımıyla okunur ya da Colebrook denklemi, Haaland denklemi, Blasius denklemi gibi denklemlerle hesaplanır. Blasius denklemi aşağıda verilmiş olup Re sayısının 100000'den küçük olduğu aralıkta $\pm\%5$ doğrulukla sonuç verir.

$$f_{B-darcy} = \frac{0,079}{(Re)^{\frac{1}{4}}}$$

Genel olarak;

$$\Delta P = \rho gh \text{ olduğu dikkate alınarak } f = D\rho h/2LV^2 \text{ yazılır.}$$

$$Re = \rho VD/\mu = VD/\nu$$

$$V = Q/S = 4Q \times 10^{-3}/\pi D^2$$

4.7.2. Amaçlar

Bu düzenek ile gerçekleştirilecek deneylerin amacı; Sıkıştırılamayan bir akışkan olan suyun silindirik düz bir boru içerisinde akarken vana, dirsek, lüle, (ani daralma ve ani genişleme) vb elemanlardan geçtiğinde sürtünmeden ötürü oluşan enerji kayıplarının, ölçülen basınç farklarından yararlanılarak tayin edilmesidir.

4.7.3. Materyal ve Metot

Deneyler “Sürtünme Kayıpları Deney Düzenegi” üzerinde gerçekleştirilecektir. Ölçüm yapılmak istenen hat veya elemanların her biri için basınç düşüşleri ölçülecek, elde edilen verilerle sürtünme faktörü, yük kaybı vb değerler hesaplanacaktır.

Deneysel Metot

- Cihazın sağ alt köşedeki su haznesi saf su ile doldurulur.
- Elektrik bağlantısı yapılır, kontrol kalemiyle kaçak testi yapılır.
- Acil stop düğmesi kontrol edilir.
- Ana şalter açılır.
- Bütün vanaların kapalı olduğu kontrol edilir.
- Yalnızca ölçüm yapılacak olan hattın giriş vanası, çıkış vanası varsa aradaki bütün vanalar açılır, diğer hatların giriş ve çıkış vanaları kapatılır.
- Yeşil düğmeye basılarak pompa çalıştırılır, ayar düğmesinden hızı ayarlanır.
- Bir uçları manometreye bağlanmış olan esnek hortumlar ölçüm yapılacak elemanın giriş ve çıkışına bağlanır.
- Her bir bağlantı elemanı için yapılan ölçümler kaydedilir.
- Yapılan deneylerde alınan ölçümler ve bu ölçümlerden hesaplanan değerlerle aşağıdakine benzer bir tablo oluşturulur:

Çizelge 4.7.1. Deney için veri çizelgesi

D.No	Hacimsel debi Q (m ³ /s)	Ortalama çizgisel hız v (m/s)	Reynolds sayısı	f değeri (Deneysel verilerden)	f değeri (Tablodan)	h _L değeri (Deneysel verilerden)	h _L değeri (Tablodan)	Enerji kaybı
1								
2								
3								
4								
5								
6								

Kaynaklar

- Uysal, B. Z., "Akışkanlar Mekaniği", Alp yayımlar, Ankara (2003).
- Peker, S., Helvacı, Ş., "Akışkanlar Mekaniği: Kavramlar, Problemler, Uygulamalar", Literatür Yayıncılık, İzmir (2003).
- Çataltaş, İ., "Kimya Mühendisliğine Giriş", 3. baskı, İnkılap Kitabevi, İstanbul (1986).
- Shames, I.H., "Mechanics of Fluids" 4th ed., Mc Graw Hill, (2003).
- Ankara Üniversitesi, Mühendislik Laboratuvarı Deney Föyü (2015)

4.7.4. Deney Sistemi

Deneyler şekilde görülen "Sürtünme Kayıpları Deney Düzenegi" üzerinde gerçekleştirilecektir.



Şekil 4.7.1. Sürtünme Kayıpları Deneyi deney düzeneği

Hazırlık Soruları

- Akış türleri nelerdir? Açıklayınız.
- Akışkan türleri/modelleri nelerdir? Açıklayınız.
- Newtonian bir akışkanın yatay bir boru içerisindeki akışı için momentum akısı, hız profili ve duvara uygulanan kuvvet için ifadeler geliştiriniz.
- Sıkıştırılamayan ve sıkıştırılabilen akışkanları birer örnek vererek tanımlayınız.
- Sürtünme kayıpları ne demektir, kaç çeşit sürtünme kaybı vardır, borulardaki sürtünme kayıplarının incelenmesinin nedenlerini açıklayınız.

- Kaç çeşit vana vardır? hangi amaçlar için dizayn edilmişlerdir.
- Bernoulli denklemi nedir, nasıl türetilir, hangi ifadeleri içerir ve hangi amaçlar için kullanılır? Açıklayınız.
- f - Re arasında nasıl bir ilişki vardır?
- Isı transferinin sürtünme kaybına olan etkileri nelerdir? Açıklayınız.

4.8 Reaksiyon Hız İfadesinin Spektrometrik Yöntemle Elde Edilmesi

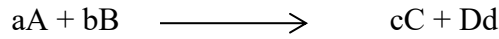
4.8.1. Genel Bilgiler

Çevresinde olup bitenleri yeterince dikkatle gözleyen bir kişi, bazı kimyasal reaksiyonların son derece kısa bir sürede olup bitmesine karşın, bazılarının oldukça uzun bir sürede sonuçlandığını fark eder. Vücudumuzdaki kasların kasılmasını veya sinir sistemi uyarılarının iletilmesini sağlayan reaksiyonlar da çok hızlıdır. Öte yandan bazı reaksiyonlar da çok yavaş yürür. Örneğin hava ile temas halindeki bir demir parçasının paslanması oldukça yavaş yürüyen bir reaksiyon örneğidir.

Bir tepkimenin başlayabilmesi için tepkimeye giren bileşenlerin sahip olmaları gereken en düşük enerjiye **aktivasyon (etkinleşme) enerjisi** denir. Aktivasyon enerjisi tepkimeye giren maddelerin iç enerjisini yükselterek onları daha aktif hale getirmektedir. Aktivasyon enerjisi verilmedikçe bir tepkime yürüyemez. Aktivasyon enerjisi ancak bir katalizör kullanılarak düşürülebilir. Bir tepkimenin hızını yükseltmek için uygulanan işleme **kataliz**, bu işlem için kullanılan maddelere **katalizör** adı verilir.

4.8.1.1 Reaksiyon Hızı ve Reaksiyon Hız Sabiti

Reaksiyon hızı, bir reaksiyonda birim zamanda ve birim hacimde dönüşen maddenin mol sayısıdır. Reaksiyon hızı, tepkimeye giren bileşen cinsinden ifade edilirse **harcanma hızı**, tepkimeden çıkan bileşen cinsinden ifade edilirse **oluşum hızı** olarak da adlandırılır.



reaksiyonu A ve B maddelerinin harcanmasıyla C ve D maddelerinin oluştuğunu göstermektedir. Bu reaksiyonun oluşumu sırasında ya dışardan ısı alınır veya dışarıya ısı verilir. Alınan veya verilen bu ısıya reaksiyon ısısı denir. Reaksiyon oluşurken dışardan ısı alınırsa endotermik, reaksiyondan dışarıya ısı verilirse ekzotermik reaksiyondan bahsedilir.

Bazı reaksiyonlar hemen oluştuğu halde bazılarının tamamlanması için aylar, yıllar beklenebilir. Bundan dolayı verilen bir reaksiyon için reaksiyon hızı önemli bir parametredir. Reaksiyon hızı, birim zamanda reaksiyon ortamında bulunan maddelerden birinin konsantrasyonundaki değişim miktarı olarak tanımlanır. Yukarıdaki reaksiyon için A ve B'nin harcanma hızından C ve D maddeleri içinde oluşum hızından bahsedilir. Harcanma hız ifadelerinin önüne negatif (-), oluşum hız ifadelerinin önüne de pozitif (+) işareti konur. Buna göre;

$$-\frac{dC_A}{dt} = A'nın\ harcanma\ hızı$$

$$-\frac{dC_B}{dt} = A'nın \text{ harcanma hızı}$$

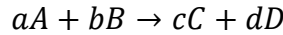
$$\frac{dC_C}{dt} = C'nin \text{ oluşum hızı}$$

$$\frac{dC_D}{dt} = D'nin \text{ oluşum hızını göstermektedir.}$$

Eğer reaksiyon sabit hacimli bir reaktörde gerçekleşiyorsa reaksiyon hızı bileşenlerden herhangi birinin birim zamandaki konsantrasyonunun değişimi olacaktır. Reaksiyon hızı herhangi bir A bileşeni için aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$-r_A = \frac{1}{V} \left(\frac{dN_A}{dt} \right) = \frac{dC_A}{dt}$$

Verilen ifade de A bir ürün ise hız pozitif, A harcanan bir reaktan (tepken) ise hız negatiftir. Bu nedenle $-r_A$, A reaktantının harcanma hızıdır.



şeklinde verilen bir tepkime de sabit hacimli bir reaktörde A ve B reaktantlarından C ve D ürünleri oluşuyor olsun. Tepkime sonunda C ve D ürünlerinin yanında reaktör kabında reaksiyona girmeden kalan bir miktar A ve/veya B reaktantları da bulunabilir. Böyle bir reaksiyon için harcanan A reaktantı cinsinden reaksiyon hız ifadesi aşağıdaki şekilde yazılır.

$$-r_A = \frac{1}{V} \left(\frac{dN_A}{dt} \right) = \frac{dC_A}{dt} = k \cdot C_A^a \cdot C_B^b$$

Burada a ve b deneysel olarak belirlenmesi gereken sabitlerdir. a reaksiyonun A reaktantına göre b ise B reaktantına göre reaksiyon mertebesidir. Reaktantlara göre belirlenen hız mertebelerinin toplamı toplam reaksiyon mertebesini verir, k ise reaksiyon hız sabitidir. Reaksiyon hızının birimi daima $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ 'dir. Bu nedenle reaksiyon hız sabitinin birimi reaksiyon derecesine bağlı olarak değişir. Reaksiyon hız sabiti, sıcaklık ve basınçla değişmektedir. Bu nedenle, tepkime hızı sıcaklık ve basınç sabit tutularak yapılan deneylerden elde edilen veriler yardımıyla bulunur. Genel olarak n. dereceden gerçekleşen bir reaksiyon için reaksiyon hız sabitinin birimi; $(\text{zaman})^{-1}(\text{konsantrasyon})^{1-n}$ 'dir.

Reaksiyon Hızına Etki Eden Etmenler

- Reaksiyona giren maddelerin özellikleri
- Sıcaklığın etkisi

- Konsantrasyonun etkisi
- Katalizörün etkisi

Reaksiyona Giren Maddelerin Özellikleri

Bir kimyasal olayda moleküller parçalanmakta ve yeniden düzenlenerek yeni moleküller meydana getirmektedirler. Eğer molekülü meydana getiren atomlar kuvvetli kimyasal bağlarla bağlanmışsa bu bağların koparılması güçtür. Bu durumda aktif komplekse varabilmek için daha yüksek bir enerjiye gerek vardır. Aktivasyon enerjisi yüksek olduğu zaman yeni moleküllerin meydana gelmesi yavaş olur.

Sıcaklığın Etkisi

Kinetik enerji sıcaklıkla orantılı olduğuna göre, yüksek sıcaklıktaki bir gazın molekülleri daha yüksek bir kinetik enerjiye sahiptir. Sıcaklık reaksiyon hızına iki yönde etki eder. Birincisi çarpışma sayısı, ikincisi ise etkili çarpışma sayısıdır. Çarpışmaların hepsi kimyasal reaksiyon vermez. Hızları aktivasyon enerjisinden yüksek olanlar reaksiyon verir, diğerleri eski haline geri döner. Sıcaklığı arttırmakla hem moleküllerin çarpışma sayısını, hem de etkili çarpışma sayısının toplam çarpışma sayısına oranını arttırmış oluruz. Bu nedenle sıcaklığın yükselmesi reaksiyon hızını artırır.

Basit reaksiyonlar için sıcaklık ile hız sabiti arasındaki bağıntı $k = A \cdot e^{-E_a/R \cdot T}$ denklemi ile verilir. Bu eşitliğin her iki tarafının logaritması alınırsa aşağıdaki denklem bulunur.

$$\log k = \log A - \frac{E_a}{2,303 \cdot R \cdot T}$$

Konsantrasyonun Etkisi

Konsantrasyon birim hacimdeki madde miktarı olduğuna göre, konsantrasyonu arttırdığımızda aynı hacimdeki molekül sayısını arttırmış oluyoruz demektir. Bu artış saniyedeki çarpışma sayısının artmasına sebep olacaktır. Bu da reaksiyon hızının artması demektir.

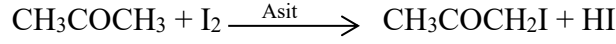
Katalizörün Etkisi

Katalizörler reaksiyon sonunda hiçbir değişikliğe uğramadıkları halde reaksiyon hızını değiştirebilen maddelerdir. Fakat katalizörler reaksiyon süresince değişebilir fakat reaksiyon sonunda değişikliğe uğramaz. Aktivasyon enerjisini arttıran katalizörler reaksiyon hızını yavaşlatır.

4.8.1.2. Reaksiyon derecesi

Bir reaksiyonun derecesi üslerin toplamına eşittir. Reaksiyon derecesi çarpışan molekül sayısını gösterir. Üsler deneysel olarak kinetik çalışmalar sonucu belirlenir

Örneğin aseton ile iyot reaksiyona girdiğinde reaksiyon denklemi,



	A	+	B	→	C	+	D
Başlangıç:	C_{A0}		C_{B0}		-		-
Değişim:	-X		-X		X		X
Denge:	$C_{A0}-X$		$C_{B0}-X$		X		X

Herhangi bir reaksiyonda k'nın birimini bilirsek, reaksiyonun toplam mertebesini de biliyoruz demektir.

$$R_A = R_B = -\frac{d[A]}{dt} = -\frac{d[B]}{dt}$$
$$-r_A \cdot V = \left(\frac{dN_A}{dt}\right) = \left(\frac{dC_A}{dt}\right) = k \cdot C_A^\alpha \cdot C_B^\beta$$
$$\int_0^t dt = \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{(-r_A)} = \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{k \cdot C_A^{\alpha+\beta}}$$

A → ürünler şeklinde bir reaksiyonun hız sabiti k olsun.

Reaksiyon Hızı = k (0.mertebe) → [k]= mol/L.sn

Reaksiyon Hızı = k.CA (1.mertebe) → [k]= sn⁻¹

Reaksiyon Hızı = k.CA² (2.mertebe) → [k]= L/mol.sn

Reaksiyon Hızı = k.CA³ (3.mertebe) → [k]= (L/mol)².sn⁻¹

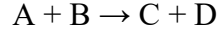
Çeşitli mertebeden reaksiyonlar için hız denklemlerinin belirli zaman aralıklarında integrallerinin alınmasından aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

Sıfır-derece Reaksiyonlar

Sıfır derece reaksiyonlarda reaksiyon hızı reaksiyona giren maddelerin konsantrasyonlarından (derişimlerinden) bağımsızdır, yani reaktanın sıfırına kuvvetiyle orantılıdır. Bu tip reaksiyonlar genellikle katalizörler üzerinden yürür. Reaksiyonda sınırlayıcı faktör, derişimden daha farklı olup, örneğin çözünürlük veya bazı fotokimyasal reaksiyonlarda ışığın soğurulması olabilir.

Çözünürlüğün sınırlayıcı faktör olduğu durum düşünüldüğünde, süspansiyon şeklindeki bir preparatta, sadece çözünen miktarda madde reaksiyona girerek bozunur.

C_{A0} , Başlangıçtaki A'nın derişimi, C_A , Herhangi bir t zamanında A'nın derişimi, k_0 , Reaksiyon hız sabiti (derişim.zaman⁻¹) ve t = Zaman olarak alınır;



$$-r_A \cdot V = \left(\frac{dN_A}{dt} \right) = \left(\frac{dC_A}{dt} \right) = k \cdot C_A^\alpha \cdot C_B^\beta$$

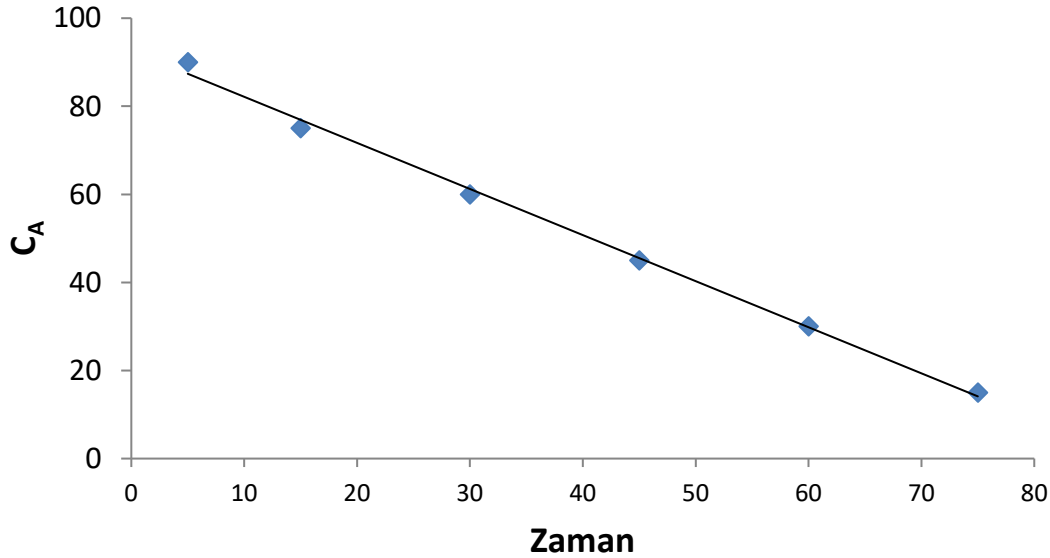
$$-r_A \cdot V = \left(\frac{dN_A}{dt} \right) = \left(\frac{dC_A}{dt} \right) = k \cdot C_A^0 \cdot C_B^0$$

$$\int_0^t dt = \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{(-r_A)} = \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{k \cdot C_A^0}$$

$$k \cdot t = C_{A0} - C_A$$

Zamana karşı derişim grafiğe geçirildiğinde, eğimi $-k_0$ ve kesişimi A_0 olan bir doğru elde edilir.

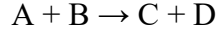
Öyleyse A ya göre bir reaksiyon sıfırıncı mertebeden ise C_A zamanın bir fonksiyonu olarak grafiğe geçirildiğinde, eğimi $-k_0$ ve kesişimi C_{A0} olan bir doğru elde edilir.



Şekil 4.8.1 Sıfırın mertebe için zaman-konsantrasyon grafiği

Birinci-derece Reaksiyonlar

Sabit koşullarda bir reaksiyonun hızı, reaksiyona giren maddelerin derişimleri ile orantılıdır. Birinci derece reaksiyonlarda reaksiyon hızı, reaksiyona giren maddelerden, sadece birinin derişimine bağlıdır.



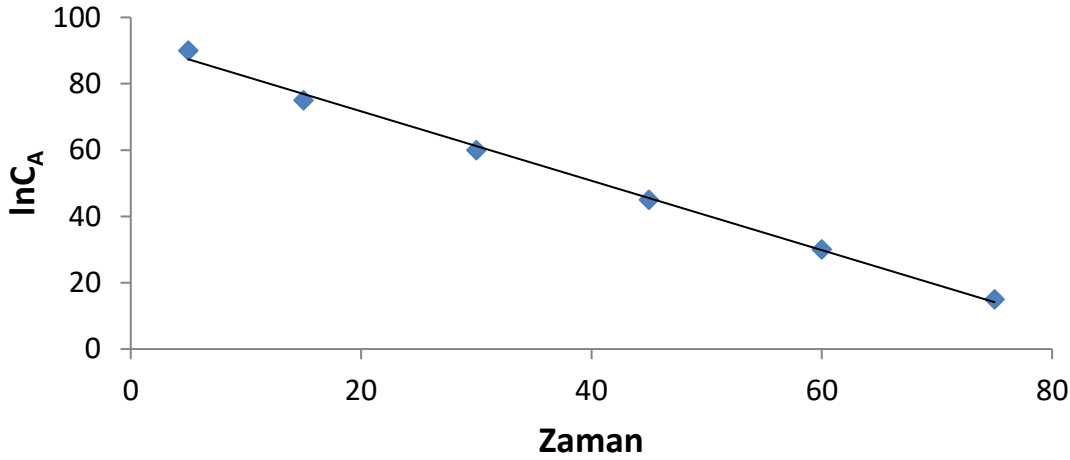
$$-r_A \cdot V = \left(\frac{dN_A}{dt} \right) = \left(\frac{dC_A}{dt} \right) = k \cdot C_A^\alpha \cdot C_B^\beta$$

$$-r_A \cdot V = \left(\frac{dN_A}{dt} \right) = \left(\frac{dC_A}{dt} \right) = k \cdot C_A^1 \cdot C_B^0$$

$$\int_0^t dt = \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{(-r_A)} = \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{k \cdot C_A^1}$$

$$-k \cdot t = \ln C_A - \ln C_{A0}$$

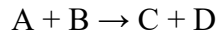
Öyleyse A'ya göre bir reaksiyon birinci mertebeden ise $\ln C_A$, zamanın bir fonksiyonu olarak grafiğe geçirildiğinde, bir doğru elde edilir. Bu reaksiyon birinci mertebededir. k negatif eğime eşittir:



Şekil 4.8.2 Birinci mertebe için $\ln C$ –zaman grafiği

İkinci-derece Reaksiyonlar

İkinci derece reaksiyonlarda reaksiyon hızı, reaksiyona giren iki aynı veya farklı molekülün derişimine bağlıdır.



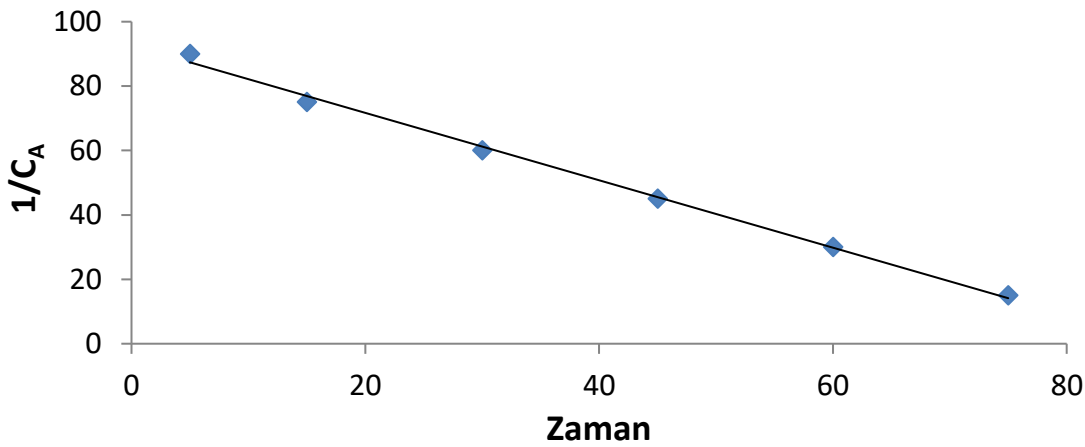
$$-r_A \cdot V = \left(\frac{dN_A}{dt} \right) = \left(\frac{dC_A}{dt} \right) = k \cdot C_A^\alpha \cdot C_B^\beta$$

$$-r_A \cdot V = \left(\frac{dN_A}{dt} \right) = \left(\frac{dC_A}{dt} \right) = k \cdot C_A^1 \cdot C_B^1 = k \cdot C_A^2$$

$$\int_0^t dt = \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{(-r_A)} = \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{k \cdot C_A^2}$$

$$-k \cdot t = \frac{1}{C_{A0}} - \frac{1}{C_A}$$

Öyleyse A'ya göre bir reaksiyon ikinci mertebeden ise, t'ye karşı $1/[C_A]$ 'nın grafiğe geçirilmesinden eğimi k ya eşit olan bir doğru elde edilir.

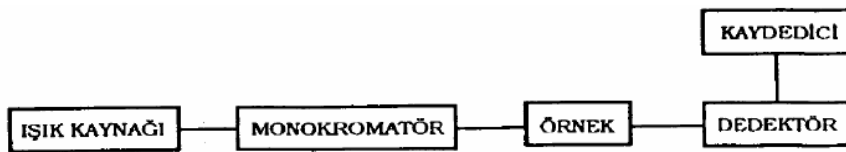


Şekil 4.8.3 İkinci mertebe için $1/C - \text{zaman}$ grafiği

4.8.1.3 Spektrofotometre (Spektrometre)

Günümüzde 200-2500 nm dalga boyları arasında ölçüm yapabilen spektrofotometreler geliştirilmiştir. Yani bu cihazlar hem ultraviyole (UV) hem görünür bölge (GB) hem de infrared (IR) bölgelerinde ölçüm yapabilmektedir.

Bu cihazlarda tek bir ışın demeti kullanılır. Sıfır ayarı ve ölçüm işlemleri ayrı ayrı yapılır. Bu tip cihazların dizayn şekli ve çalışma prensibi Şekil'de verilmiştir. Tek ışın yollu spektrofotometreler basit ve ucuz olmalarının yanında hassas ölçüm yapabilmeleri nedeniyle de tercih edilir. Kantitatif analizler için oldukça uygun cihazlardır.



Şekil 4.8.4 Spektrofotometrenin Şematik Yapısı

Spektrofotometrelerin Çalışma Prensibi

Spektrofotometrelerin temel çalışma prensibi, hazırlanan çözeltiden belirli dalga boyunda ışık geçirilmesi ve bu ışığın ne kadarının çözelti tarafından tutulduğunun bulunması esasına dayanır. Çözeltinin içerisindeki madde miktarı ne kadar fazla ise çözelti tarafından tutulan ışın miktarı da o oranda fazla olur. Çözelti içerisindeki bütün maddeler, ışının bir dalga boyunu tutarken diğerlerini yansıtır veya geçirir. Maddenin belli bir dalga boyundaki bir ışını tutması, onun diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri (yoğunluk, erime, kaynama noktası, donma noktası vb.) gibi sabit bir özelliğidir.

Spektrofotometrik Ölçümün Yapılışı

Spektrofotometrede ölçüm yapılırken numuneye belirli bir dalga boyundaki ışın gönderilerek numunenin absorbe ettiği ışın miktarı ölçülür. Yapılan analize göre ölçümde hangi dalga boyundaki ışının kullanılacağı analiz metodunda belirtilmektedir. Kullanılacak ışın dalga boyu bilinmiyorsa miktarı tespit edilecek maddenin 1 molar çözeltisi hazırlanıp çeşitli dalga boylarındaki absorban değerleri ölçülür. En yüksek değer in ölçüldüğü dalga boyu belirlenerek kullanılır. Spektrofotometre bu dalga boyuna ayarlanarak çözeltilerin ölçümüne geçilir.

Spektrofotometrik ölçüm için üç tip çözelti hazırlanır. Bu çözeltiler kör çözelti, standart çözelti ve numune çözeltisi olarak isimlendirilir.

A. Kör (tanık, şahit) Çözelti: Spektrofotometrede okuma yapmadan önce absorbanı sıfıra veya % transmittansı 100'e ayarlamak için kullanılan çözeltidir. Bu amaçla yapılan işleme “kör ayarı” veya “0 ve 100 ayarı” denir. Üç tip kör çözeltisi vardır. Bunlar:

1. **Optik kör;** standart çözelti serisi hazırlanırken stok standart çözelti hariç diğer kimyasalların konulmasıyla hazırlanan 0,0 konsantrasyonlu çözeltidir. Çözeltilerden ve küvetten gelebilecek absorbanları ortadan kaldırmak için kullanılır. Bunun analiz öncesi yapılması zorunlu olmakla beraber analiz sırasında da yapılması gerekebilir.
2. **Reaktif körü;** bulanık veya renkli reaktifler kullanıldığında içinde sadece o reaktifin olduğu kör çözelti olup o reaktiften gelebilecek absorbanı tespit etmek için kullanılır.
3. **Numune körü;** renkli veya bulanık numunelerin kullanıldığı ölçümlerde numunenin renginden gelebilecek absorbanı tespit etmek için kullanılan, içinde sadece numunenin bulunduğu kör çözeltidir.

Spektrofotometre optik köre karşı sıfıra ayarlanmışsa reaktif körünün absorbands değeri, numune ve standartların absorbandsından çıkarılır. Numune körünün absorbandsı ise sadece numunenin absorbandsından çıkarılarak hesaplama yapılır.

B. Standart Çözelti: Miktarı bulunmak istenen maddenin bilinen konsantrasyonlardaki çözeltisidir. Bir veya birden fazla olabilir. Birden fazla olduğunda grafik çizilir.

C. Numune Çözeltisi: İçindeki madde miktarını tespit etmek istediğimiz çözeltidir

Spektrofotometrik ölçüm yapılırken şu aşamalar takip edilir:

Ölçümden yeterli süre önce cihaz çalıştırılarak ısınması sağlanır.

Cihaz ölçümün yapılacağı dalga boyuna ayarlanır.

Küvete kör çözelti konularak cihaza yerleştirilir.

Kör çözelti ile cihazın 0 ve 100 ayarı yapılır.

Küvete standart çözelti konularak cihaza yerleştirilip okumaları yapılır.

Küvete numune çözeltisi konularak cihaza yerleştirilip okuması yapılır.

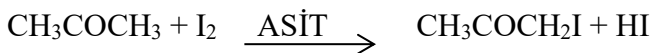
Kalibrasyon (absorbans) eğrisi çizilerek, numunenin konsantrasyonu hesaplanır.

Okumalar tamamlandıktan sonra ya numunenin absorbands değeri sabit faktör ile çarpılarak numunenin konsantrasyonu hesaplanır veya kalibrasyon grafiği çizilip bu grafik yardımıyla numunenin absorbands değerinden konsantrasyonu tespit edilir.

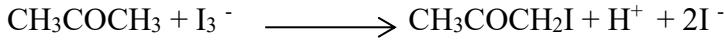
Bir bileşiğin hangi dalga boyunda absorbsiyon yaptığını bulmak için absorbsiyon eğrisini saptamak gerekir. Bunun için söz konusu bileşiğin değişik dalga boylarındaki uygun aralıklarla absorbsiyonu y eksenine, dalga boyu ise x eksenine işaretlenerek bir eğri elde edilir. Bu eğriye absorbands eğrisi denir.

4.8.1.4 Asetonun İyodinasyonu Mekanizmasının İncelenmesi

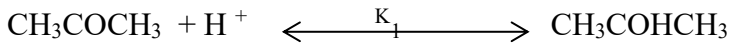
Asetonun iyodinasyon, mekanizması kinetik çalışılacak şekilde 1904 Lapworth tarafından incelenmiştir. Seyreltik iodin çözeltisi asitli ortamda, aseton çözeltisi ile birlikte oda sıcaklığında reaksiyon mekanizması yavaş bir şekilde aşağıda gösterildiği gibi ilerler.



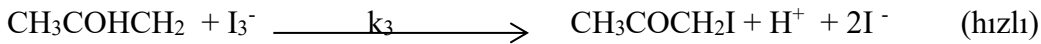
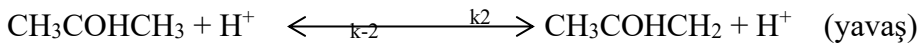
Eğer asit katalizörü konsantrasyonu, iyot çözeltisi konsantrasyonundan önemli ölçüde daha büyük olması durumunda, reaksiyon sıfırıncı mertebeden gerçekleşir. Reaksiyon hızı zamanla sabittir. Kinetik sonuçlar reaksiyon hızının basamağını tanımlamamıza yardımcı olur. Yapılan araştırmalar göstermektedir ki, reaksiyon hızında iyot konsantrasyonunun herhangi bir belirleyici etkisi yoktur.



Asidik ortamda reaksiyona mekanizması, aşağıdaki şekilde gerçekleştirilebilir.



Burada K_1 = Denge Sabiti



k_2 , k_{-2} ve k_3 hız sabitleri olarak ifade edilmiştir.

Eğer $k_3[\text{I}_3^-] \gg k_{-2}[\text{H}^+]$ ise ,

$$-\frac{d[\text{aseton}]}{dt} = \frac{-d[\text{I}_3^-]}{dt} = k_2 \cdot K_1 \cdot [\text{H}^+] \cdot [\text{aseton}]$$

Bu deneyin amaçlarından biri önerilen mekanizmayı test etmektir. Önerilen mekanizmayı türetecek olursak,

$$-\frac{d[\text{CH}_3\text{COHCH}_2]}{dt} = \dots$$

$$\dots = k_2 \cdot [\text{CH}_3\text{COHCH}_3] - k_{-2} \cdot [\text{CH}_3\text{COHCH}_2] \cdot [\text{H}^+] - k_3 \cdot [\text{I}_3^-] \cdot [\text{CH}_3\text{COHCH}_2] = 0$$

Yukarıda ifadeye göre,

$$k_2 \cdot [\text{CH}_3\text{COHCH}_3] = K_1 \cdot [\text{CH}_3\text{COHCH}_3] \cdot [\text{H}^+] \cdot (k_{-2} \cdot [\text{H}^+] + k_3 \cdot [\text{I}_3^-])$$

Bu nedenle,

$$k_2 \cdot K_1 \cdot [\text{H}^+] \cdot [\text{CH}_3\text{COHCH}_3] = [\text{CH}_3\text{COHCH}_2] \cdot (k_{-2} \cdot [\text{H}^+] + k_3 \cdot [\text{I}_3^-])$$

$$Hız = \frac{-d[\text{I}_3^-]}{dt} = k_3 \cdot [\text{I}_3^-] \cdot [\text{CH}_3\text{COHCH}_2] = \frac{k_3 \cdot [\text{I}_3^-] \cdot k_2 \cdot K_1 \cdot [\text{H}^+] \cdot [\text{CH}_3\text{COHCH}_3]}{k_{-2} \cdot [\text{H}^+] + k_3 \cdot [\text{I}_3^-]}$$

Eğer $k_3[\text{I}_3^-] \gg k_{-2}[\text{H}^+]$ ise ,

$$Hız = \frac{-d[\text{I}_3^-]}{dt} = k_2 \cdot K_1 \cdot [\text{H}^+] \cdot [\text{CH}_3\text{COHCH}_3] \text{ olup reaksiyon yalancı sıfırıncı mertebededir.}$$

Bu deneyde reaksiyon hız ifadesini belirleyebilmek için titrimetrik yöntem yerine, spektrofotometrik yöntem kullanılacaktır. I_3^- iyonları görünür bölgedeki absorbandsı kuvvetli olmasından dolayı öncelikli olarak, bu iyonların optimum dalga boyunu belirlememiz gerekmektedir.

$$Absorbans = A = \varepsilon \cdot l \cdot [I_3^-]$$

Reaksiyona ait hız ifadesi yalancı sıfırcı mertebeden olduğu için

$$\frac{-d[I_3^-]}{dt} = k_{gözlemlenen}$$

$$-[I_3^-] \cdot t = k_{gözlemlenen} \cdot t + sabit$$

$t = 0$ anında $sabit = -[I_3^-]_0$ olur. Bu sebeple ifade aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$[I_3^-]_t = [I_3^-]_0 - k_{gözlemlenen} \cdot t$$

$$A_t = A_0 - k_{gözlemlenen} \cdot \varepsilon \cdot l \cdot t$$

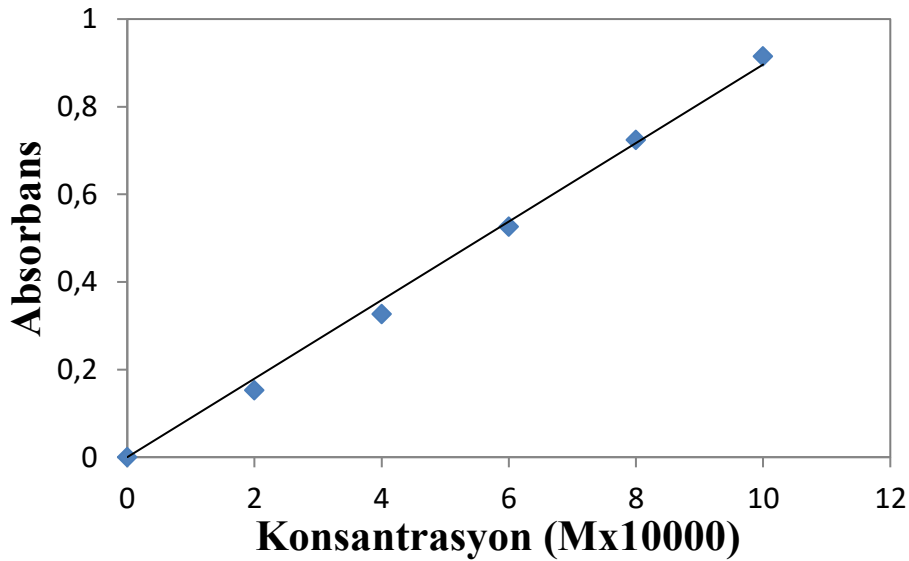
Deneyin Yapılışı

Cihazı kalibrasyon moduna alarak, 450nm dalga boyunda 0.00020, 0.00040, 0.00060, 0.00080, ve 0.0010 M KI₃ çözeltilerini hazırlayınız. [I₃⁻] iyonlarının grafiğini çizip, sabit (ε·l) değerini hesaplayınız

4.8.1.5 Kalibrasyon Eğrisinin Çizdirilmesi

4.8.1.4 Gerekli Madde ve Malzemeler

Cihazı kalibrasyon moduna alarak yapılabileceği gibi kalibrasyon eğrisinin çizdirilmesi işlemi elle ya da başka bir bilgisayar programı kullanılarak yapılabilir. Önceden hazırlanan 2x10⁻⁴, 4x10⁻⁴, 6x10⁻⁴, 8x10⁻⁴ ve 1x10⁻³ M KI₃ çözeltileri 450 nm dalga boyunda ölçülmüş ve kalibrasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 4.8.5). 450 nm’de yapılan UV absorbans ölçümü [I₃⁻] iyonlarının konsantrasyon değerlerinin belirlenmesini sağlar.



Şekil 4.8.5. Kalibrasyon eğrisi

4.8.2 Materyal ve Metot

Her bir çalışma için 250 mL'lik volumetrik bir şişeye, 0.01 M KI_3 x mL, 1 M HCl y mL ve yaklaşık 5 ml kalacak şekilde şişeyi saf su ile doldurun. Daha sonra z mL aseton ilave ederek şişeyi 250ml saf su ile tamamlayıp süreyi başlatın. Zamanı başlattıktan sonra şişeyi iyi bir şekilde karışmasını sağlayıp, belirlediğiniz zaman aralıklarında spektrometrede ölçüm için numuneler alıp zaman kaybetmeden ölçümlerinizi alınız. Spektrometre için güven aralığı tüm dalga boylarında 0,1 ile 1 arasındaki absorbans değerleridir. 1 değerinin üzerindeki değerleri kullanmayınız.

Çalışma	1M HCl (x mL)	0.01 M KI_3 (y mL)	Aseton (z mL)
1	50	25	2
2	25	20	2
3	10	25	4
4	10	25	2
5	5	25	1

Elde etmiş olduğunuz sonuçlara göre reaksiyon mertebesini bulunuz. Konsantrasyonların zamana karşı nasıl değiştiği hakkında yapılabiliyorsa hesaplama ve yorum yapınız.

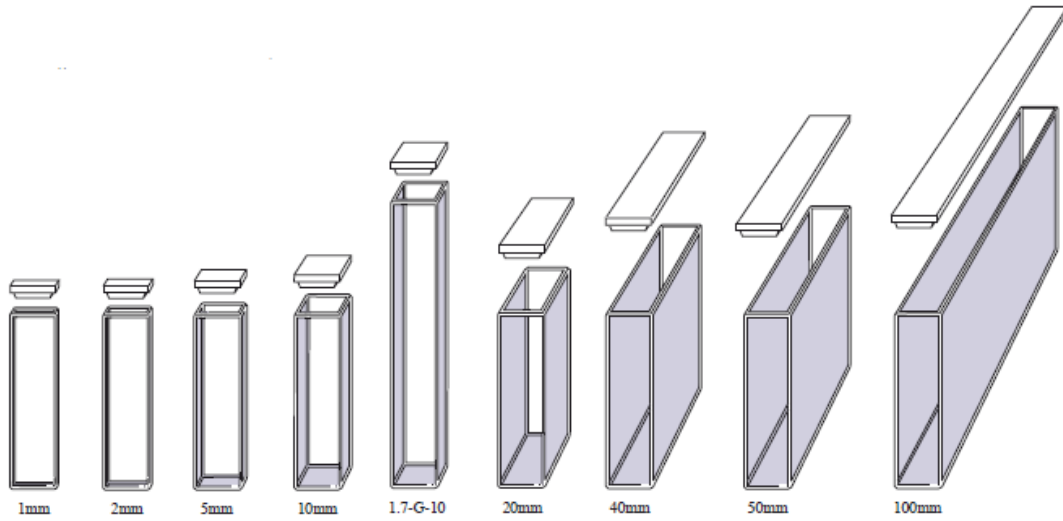
Numune	Zaman (dk)	Absorbans Değeri	$[H^+]$	$[I_3^-]$	Aseton
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Deney Sistemi

Deney sistemi manyetik karıştırıcılı ısıtıcı ve reaktör olarak kullanılan bir 600 mL'lik hacme sahip beherden oluşmaktadır. Deney boyunca spektrofotometre kullanılarak zaman karşı absorbans ölçümleri yapılır. Deney sistemine dahil olmasa da kullanılan diğer araç ve gereçler şöyledir: 1 adet 10 mL'lik pipet, 3 adet 100 mL'lik balon joje, 1 adet manyetik balık, 2 adet spektrofotometre küveti, 1 adet piset.



Şekil 4.8.5. Deneyde kullanılan UV-Vis Spektrometre cihazı



Şekil 4.8.6. UV-Vis Spektrometre cihazlarında kullanılan çeşitli boyutlardaki küvetler

Hazırlık Soruları

- Absorbans (absorbance) ve transmittans (Transmittance) ne demektir?
- Spektrometre ne ölçer?
- Kalibrasyon eğrisi ne işe yarar?
- Reaksiyon derecesi ve reaksiyon hız sabiti tayin yöntemleri nelerdir?
- Cisimlerin görülebilir olması nasıl mümkün olmaktadır?

- Renkler nasıl oluşmaktadır?

Deneylerin Yapılışında İzlenecek Yol

Analiz öncesi hazırlıkları yapınız.

Çalışma Önlüğünüzü giyiniz

Çalışma ortamını deney sistemi için hazır hale getiriniz

Deney çözeltilerini hazırlayınız

Reaktifi hazırlarken belirlenen sırada kimyasalları hazırlamaya dikkat ediniz

Standart deney çözelti serisini hazırlayınız Toplam hacmin hepsinde aynı olmasına dikkat ediniz.

Spektrofotometreyi kullanmadan bir süre önce çalıştırarak ısınmasını sağlayınız

Dalga boyuna uygun küvetlerle çalışınız.

Kullandığınız küvetlerin çizik ve kirli olmamasına dikkat ediniz.

Kör çözeltisi olarak 0,0 mg/l konsantrasyonlu çözeltiyi kullanınız

Spektrofotometreyi çalıştırarak dalga boyunu 450 nm'ye ayarlayınız.

Her bir çözelti için cihazda ayrı ayrı okuma yapınız

Okuma kabına (küvet) tanık (kör) çözeltiyi doldurunuz ve düzeltme işlemini yapınız.

Kalibrasyon eğrisi çizilmesi gerekiyorsa küvete önceden hazırlanan standart çözelti serilerini doldurunuz ve ölçme işlemini yapınız.

Küvete numuneleri doldurunuz ve ölçme işlemini yapınız.

Küvetlere çözelti aktarırken taşan çözeltiyi dikkatlice temizleyiniz

Küvetin yönünü doğru yerleştiriniz.

Küvetlerin saydam kısımlarından tutmayınız.

Aynı işlemleri yapmış olduğunuz deney numuneleri içinde uygulayıp çizilmiş olan kalibrasyon eğrisine göre ölçtüğünüz absorbans değerlerine karşılık gelen konsantrasyonları hesaplayınız.

Laboratuvarıda temizlik çok önemlidir. Kullandığınız tüm malzemeleri önce çeşme suyu sonra saf su ile yıkayıp malzemeler kuruduktan sonra yerlerine kaldırınız. Kuvetleri kuralına uygun olarak temizleyiniz.

Kaynaklar

Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Fizikokimya Laboratuvarı Deney Föyü
2013/2014

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü KMÜ 308
Kimya Mühendisliği Laboratuvarı I Deney Föyü

Fırat Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Fizikokimya Laboratuvarı Deney Föyü

Karabük Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Genel Kimya Laboratuvarı Deney
Föyü

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Genel Kimya Laboratuvarı Deney Föyü

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Modül 8 Kimyasal Kinetik,
Çavaş L.

4.9 Kimyasal Reaksiyonun Aktivasyon Enerjisi Tayini Deneyi

4.9.1. Genel Bilgiler

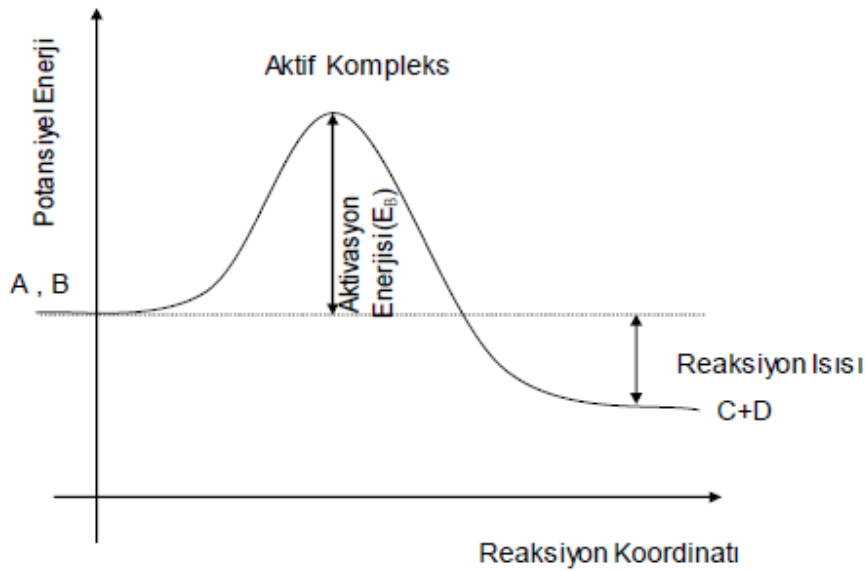
Aktivasyon enerjisi E , reaksiyon gerçekleşmeden önce reaktan moleküllerinin sahip olmaları gereken minimum enerjidir. Gazların kinetik teorisinden $e^{-E/RT}$ faktörü, gerekli minimum enerjiye (E) sahip moleküllerin çarpışma fraksiyonunu verir. Aktivasyon enerjisi diğer parametreler sabit tutularak birkaç tane farklı sıcaklıkta deney yapılarak belirlenir.

Aktivasyon enerjisi reaksiyonun ne kadar sıcaklığa duyarlı olduğunun bir ölçüsüdür. Daha büyük aktivasyon enerjili reaksiyonlar sıcaklığa daha duyarlı reaksiyonlardır.

A_2 ve B_2 gibi iki molekülün, çözelti ya da gaz fazında, $A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$ basit tepkimesine uygun olarak AB bileşiğini verebilmesi için, üç koşulun yerine getirilmesi gerekir:

- * A_2 ve B_2 molekülleri bir araya gelerek çarpışmalıdır,
- * Çarpışma, aktivasyon enerjisini karşılamalıdır,
- * A ve B molekülleri uygun geometride çarpışmalıdır.

$A + B \rightarrow C + D$ reaksiyonu için reaksiyon koordinatı aşağıdaki şekilde gibidir.



Şekil 4.9.1 $A + B \rightarrow C + D$ reaksiyonu için reaksiyon koordinatı

Yukarıdaki reaksiyon koordinatına göre, reaksiyonun gerçekleşmesi için reaktanların E_B bariyerini aşması gerekir. Enerji engeli Aktivasyon enerjisine bağlıdır. Enerji bariyeri aşağıda belirtilen enerjilerin toplamına bağlıdır.

1. Moleküllerin bağlarını kırmak için eğilip bükülmesi, gerilmesi ve yeni bağların oluşması için ihtiyaç duyulan enerji

2. Reaksiyon moleküllerinin hem elektron itme hem de sterik itme kuvvetlerinin üstesinden gelmeleri ile moleküllerin birbirlerine yakın konuma gelmeleri için gerekli enerji

Çarpışmaların sayısı C_A ve C_B konsantrasyonları ile orantılı olur. E aktifleşme enerjisine sahip olan çarpışmalar kimyasal bir reaksiyon ile sonuçlanabilir. Buna göre birim hacim içinde birim zamanda değişikliğe uğrayan A, B çiftlerinin sayılarının birim hacim içinde birim zamanda meydana gelen toplam çarpışma sayısı ile orantılı olacağı söylenebilir. E enerjisine sahip moleküllerin sayısı Maxwell - Boltzman enerji dağılımı bağıntısı ile verilir.

Aktivasyon enerjisi, en basit anlamı ile tepkimelerin gerçekleşebilmesi için tepkimeye girecek taneciklerin çarpışmaları sırasında sağlanması gereken en küçük enerji miktarıdır. Tablo 1' de bazı tepkimelere ait aktivasyon enerjileri görülmektedir.

Tablo 4.9.1. Arrhenius parametreleri

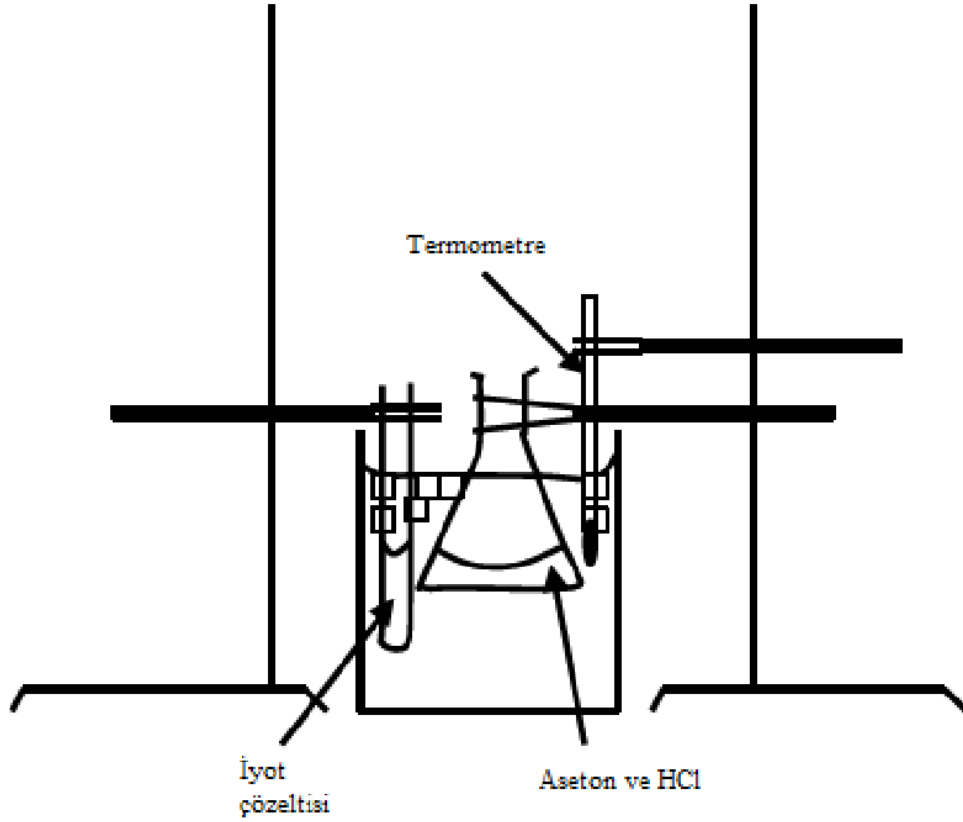
Tepkime	A	E (kJ/mol)
$2N_2O_5 \rightarrow 4NO_2 + O_2$	$4,94 \times 10^{13} s^{-1}$	103,4
$OH + H_2 \rightarrow H_2O + H$	$8 \times 10^{10} L/mol s$	42

Amaç

Bu deneyde farklı sıcaklıklarda I_2 çözeltisinin aseton ve HCl çözeltileriyle gerçekleştirdiği reaksiyonlar sonucunda aktivasyon enerjini bulmak ve sıcaklığın aktivasyon enerjisi üzerindeki etkisini incelemektir.

4.9.2. Materyal ve Metot

Deneyler şekil 2'deki deney sisteminde gerçekleştirilecektir. Sıcaklık değişimi yapılarak reaksiyon süresi ölçülüp gerekli hesaplamalar yapılarak aktivasyon enerjisi hesaplanacaktır.



Şekil 4.9.2 Deney Sistemi

4.9.3. Deneyin Yapılışı

İlk olarak su sirkülatörü çalıştırılarak deneyin yapılacağı sıcaklığa ayarlanacaktır. Deneyimiz 20 °C ile 50 °C sıcaklıkları arasında yapılacaktır. Daha sonra deneyde kullanacağımız 100 mL 2 M aseton, 100 mL 0,5 M HCl ve 50 mL I₂ çözeltileri hazırlanacaktır. Hazırlamış olduğumuz 2 M aseton ve 0,5 M HCl çözeltilerinden 20'şer mL alınarak su sirkülatörüne bağlı olan bir reaktörün içindeki erlene konulacaktır. Hazırlamış olduğumuz I₂ çözeltisinden de 10 mL alınarak reaktörün içindeki deney tüpüne konulacaktır. Reaktör içindeki erlen ve deney tüpüne eklediğimiz reaktantların sıcaklıklarının reaktörün sıcaklığa eşitlenmesi için 5 dakika beklenecektir. 5 dakikalık beklemeden sonra o anki sıcaklık hesaplamalar kısmındaki tabloya not edilecektir. Bu bizim reaksiyon sıcaklığımız olacaktır. I₂ çözeltisinin bulunduğu deney tüpü hızlıca çıkartılacak ve erlene eklenecektir. Eklenir eklenmez kronometre çalıştırılacaktır. İyotun sarı rengi tamamen ortadan

kaybolduğu anda kronometre durdurulacak ve okunan süre hesaplamalar kısmındaki tabloya not edilecektir.

Deney farklı sıcaklıklarla en az 2 kere daha tekrar edilecektir.

4.9.4. Hesaplamalar

Tepkimenin aktifleşme enerjisini hesaplamak için Arrhenius bağıntısından faydalanılır. Bunun için farklı sıcaklıklarda hız sabitleri bulunur ve eşitlikte yerine konularak E_a hesaplanır.

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad (1)$$

Bu eşitlik düzenlenirse,

$$\ln k = -\frac{E_a}{RT} + \ln A \quad (2)$$

Eşitliği elde edilir. Farklı sıcaklıklar için eşitlik yeniden düzenlenirse,

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (3)$$

Eşitliği elde edilir.

Tablo 4.9.2. Deney verileri

Sıcaklık °C	Sıcaklık °K	t (s)	k (s ⁻¹)

Elde edilen deney verilerinden eşitlik 2'ye uygun grafik excel programında çizilerek Aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanacaktır.

Eşitlik 3 yardımıyla da Aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanıp ilk hesaplamayla karşılaştırılıp yorumlar raporla birlikte sunulacaktır.

Tablo 4.9.3. Hesaplamalar

Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°K)	1/T	t (s)	k (s ⁻¹)	ln (k)

4.9.5. Hazırlık Soruları

Öğrenci deneye gelmeden önce tepkime mühendisliği kitaplarında aktifleşme enerjisi ile ilgili bölümlerine hazırlanarak gelmelidir.

13. Çözelti nasıl hazırlanır.

14. 1 M HCl 250 mL çözeltisi nasıl hazırlanır.

15. 4M aseton 1 L çözeltisinde kaç g aseton bulunur hesaplayınız.

16. Aktivasyon enerjisini etkileyen faktörler nelerdir.

17. Reaksiyon hızına etki eden faktörler nelerdir.

Kaynaklar

1. Levenspiel,O., Kimyasal Tepkime Mühendisliği, Çeviri Editörü, Altıokka, M.R., Palme yayıncılık, 2016.
2. Fogler,H.S., Elements of Chemical Reaction Engineering, Third Edition, Prentice-Hall International, Inc.
3. Atkins,P.W., Fizikokimya, Çevirenler, Yıldız,S., Yılmaz,H., Kılıç,E., Bilim Yayıncılık, 2001.

4.10 Polimerizasyon Tekniklerinin İncelenmesi

4.10.1. Genel Bilgiler

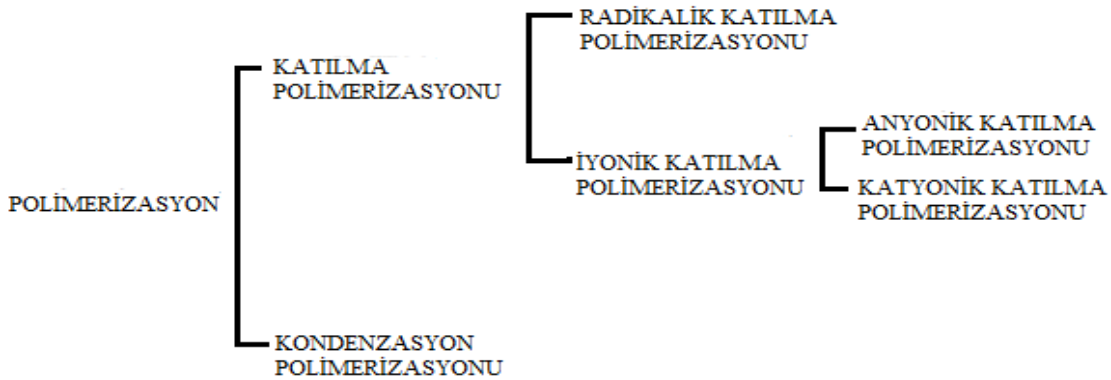
Polimerler, iri moleküllü kimyasallardır. Bazı maddelerin moleküllerinin, geleneksel kimyasal maddelerin moleküllerinden çok büyük olabileceğine yönelik ilk görüş Staudinger tarafından ortaya atılmış ve 1930’lardan sonra bilimsel alanda kullanılmaya başlanmıştır.

Monomer: Birbirlerine kovalent bağlarla bağlanarak büyük molekül oluşturabilen küçük mol kütleli kimyasal maddelerdir.

Polimer: Çok sayıda monomerin kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak oluşturduğu iri moleküle verilen addır.

4.10.1.1. Polimerlerin Sentezi

Polimerlerin sentezinde farklı kimyasal tepkimelerden yararlanılır. Bu tepkimeler genel işleyiş mekanizmaları açısından; basamaklı polimerizasyon ve katılma polimerizasyonu olmak üzere iki farklı polimerizasyon yöntemi adı altında toplanırlar (Şekil 4.10.1). Basamaklı polimerizasyonda polimerizasyon ortamında bulunan her boy molekül birbiri ile tepkimeye girebilir. Polimer zincirleri adım adım ve yavaş bir şekilde büyürler ve yüksek mol kütleli polimer polimerizasyonun sonlarına doğru elde edilir. Katılma polimerizasyonunda ise monomerler aktif merkezlere birer birer katılarak polimer zincirlerini büyütürler, polimerizasyon süresince zincir büyüklüğü fazlaca değişmez.

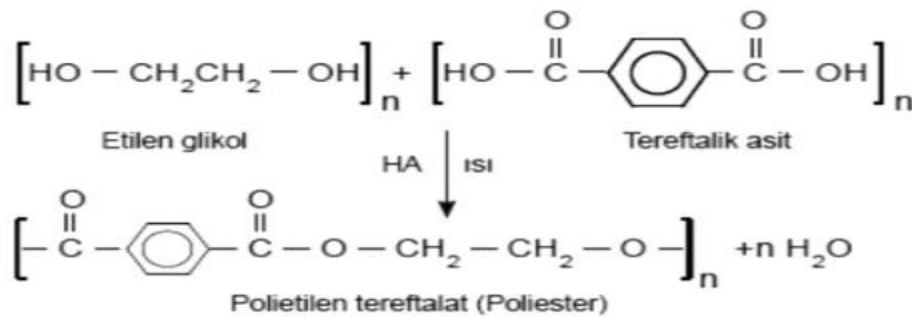


Şekil 4.10.1 Polimerlerin sentezinde kullanılan polimerizasyon yöntemleri

Basamaklı Polimerizasyon

Basamaklı polimerizasyon; kondenzasyon, Micheal katılması, Friedel-Crafts, Diels-Alder katılması, üretan oluşumu gibi organik tepkimeler üzerinden ilerleyebilmektedir. Sözü edilen tepkimeler içerisinde en sık kullanılanı ve laboratuvar ya da endüstride basamaklı polimer üretimine en uygun olanı kondenzasyon tepkimeleridir. Bu nedenle, basamaklı polimerizasyon yerine çoğu

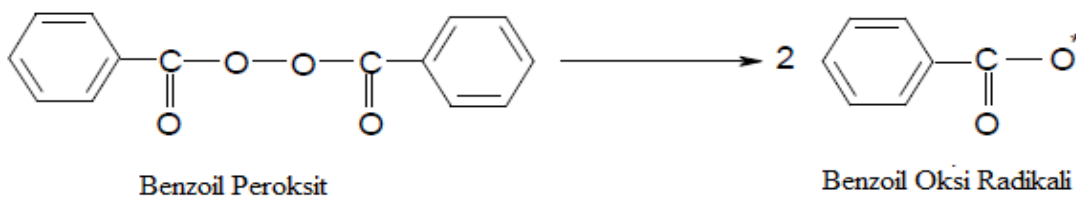
kez kondenzasyon polimerizasyonu kavramı kullanılır. Kondenzasyon Tepkimeleri ve Polimerizasyonu: Kondenzasyon tepkimelerinin genel tanımı, fonksiyonel grupları bulunan iki molekülün aralarından küçük bir molekül ayrılarak birleşmesi şeklinde yapılır. Fonksiyonel grup, bir molekülün kimyasal tepkimelere katılan kısmıdır. Kondenzasyon tepkimelerine katılan moleküllerde genelde $-OH$, $-COOH$, $-NH_2$ türü fonksiyonel gruplar bulunur ve kondenzasyon sırasında H_2O , HCl , NH_3 gibi küçük moleküller ayrılır. Basamaklı polimerizasyonda polimer zincirleri, fonksiyonel gruplar üzerinden ilerleyen tepkimelerle adım adım ve yavaş bir şekilde büyürler. Etilen glikol ve tereftalik asidin kondenzasyon polimerizasyonu ile eldesi Şekil 4.10.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.10.2 Etilen glikol ve tereftalik asidin kondenzasyon polimerizasyonu

Katılma Polimerizasyonu

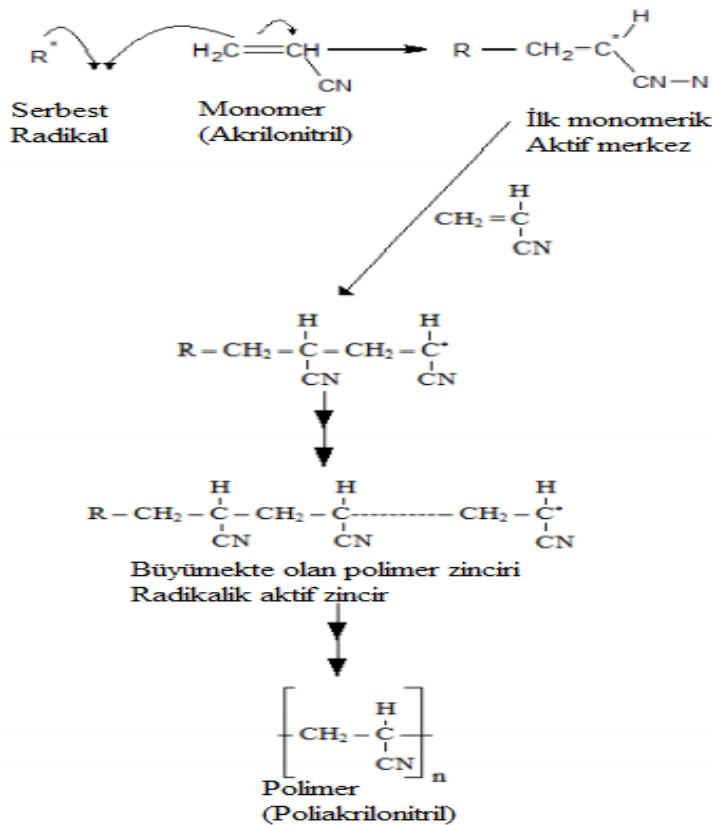
Katılma polimerizasyonunda monomer molekülleri aktif bir merkeze birer birer katılarak polimer zincirini oluştururlar. Zincir büyümesi ve sonlanması birlikte ilerlediği için polimerizasyonun her aşamasında ortamda yalnız yüksek mol kütleli polimer ve tepkimeye girmemiş monomer bulunur. Katılma polimerizasyonun başlatma yöntemlerinden birisi, serbest radikallerden (çiftleşmemiş elektronu bulunan bileşikler) yararlanmaktır. Serbest radikaller kimyasal maddeler kullanılarak veya ısı, ışın gibi fiziksel etkenlerden yararlanılarak polimerizasyon ortamında oluşturulabilir. Benzoilperoksit (BPO) iyi bir başlatıcıdır ve benzen, toluen gibi çözücülerde hazırlanan çözeltileri $70-80\text{ }^\circ\text{C}$ dolayına ısıtıldığında aşağıdaki tepkimeyle parçalanarak yeterli sayıda benzoil oks radikali üretir (Şekil 4.10.3).



Şekil 4.10.3 Benzoil peroksitin parçalanma reaksiyonu

Benzoil oksi radikali ortamda akrilonitril gibi bir vinil monomeri bulunduğunda monomerin π -elektronlarının birisi üzerinden monomerle birleşerek ilk monomerik radikali oluşturur (Şekil 4.10.4). Yeni radikalik aktif merkez ikinci bir monomeri benzer şekilde katar ve polimerizasyon, monomerlerin radikalik aktif zincire ard arda katılmasıyla ilerler. Basamaklı polimerizasyonda, polimerizasyon ortamında bulunan her boy molekül birbirleriyle tepkimeye girerek zinciri büyütürken, katılma polimerizasyonunda büyüme tepkimeleri yalnız aktif zincirler ve monomer molekülleri arasındadır.

Aktif polimer zincirleri sonlanma tepkimeleri adı verilen tepkimelerle aktifliklerini yitirirler. Sonlanma tepkimeleri farklı tanecikler arasında ilerleyebilmektedir. Örneğin aktif iki zincir, uçlarındaki radikaller üzerinden birleşerek sonlanabilirler ve monomer katma yeteneği olmayan kendilerinden daha uzun bir ölü polimer zincirine dönüşebilirler. Aktif zincirlerin birisinden diğerine bir atomun aktarılması (genelde hidrojen atomu), bir başka sonlanma tepkimesi türüdür.



Şekil 4.10.4 Radikalik katılma polimerizasyonun ilerleyişi

Katılma polimerizasyonu radikaller dışında iyonik karakterdeki aktif merkezler üzerinden de gerçekleştirilebilir (iyonik katılma polimerizasyonu). İyonik katılma polimerizasyonu zincir büyümesini sağlayan aktif merkezin türüne göre katyonik katılma polimerizasyonu ve anyonik katılma polimerizasyonu şeklinde iki başlık altında incelenir. Katyonik polimerizasyon, zincir

büyümesinden katyonik merkezlerin (genellikle karbonyum) sorumlu olduğu iyonik polimerizasyon türüdür. Anyonik polimerizasyonda ise zincir büyümesi anyonik merkezler üzerinden ilerler.

4.10.1.2. Polimerizasyon Teknikleri

Polimerlerin üretiminde kullanılan endüstriyel teknikler, polimerizasyon ortamının özelliklerine bağlı olarak kendi içlerinde

- Kütle (Yığın) Polimerizasyonu
- Çözelti Polimerizasyonu
- Süspansiyon Polimerizasyonu
- Emülsiyon Polimerizasyonu
- Arayüzey Polimerizasyonu

başlıkları altında incelenebilir.

Kütle (Yığın) Polimerizasyonu: Monomerlerin doğrudan başlatıcı, ısı, ışın vb polimerizasyonu başlatıcı etkenler yardımıyla polimerleştirildiği tekniktir. Daha çok sıvı monomerlerin polimerizasyonuna elverişlidir. Bu prosesin en önemli özelliği oldukça saf polimerlerin üretilmesidir.

Çözelti Polimerizasyonu: Sıvı haldeki monomerlerin yığın polimerizasyonunda yüksek viskozite ve ısı aktarımı sorunlarıyla karşılaşılır. Bu sorunları giderme yollarından biri, polimerizasyonu monomeri çözen bir sıvıda yürütmektir. Çözelti polimerizasyonunun başlangıcında ortamda monomer, çözücü ve başlatıcı vardır. Kullanılan çözücü hem monomeri hem de başlatıcıyı çözdüğü için başlangıçta sistem homojendir. Çözücünün polimerizasyon sırasında polimeri de çözmesi halinde, polimerizasyon homojen ortamda başlar, ilerler ve sonlanır (homojen çözelti polimerizasyonu). Çözücünün monomeri çözmesi, polimeri çözmemesi durumunda; ortamda oluşan polimer toz veya tanecikler halinde çökerek ayrılır. Bu durumda polimerizasyona, heterojen çözelti polimerizasyonu adı verilir. Kullanılan çözücülerin; düşük maliyetli, sağlık açısından zararlı olmayan, polimerizasyon koşullarına uygun erime veya kaynama noktasına sahip, polimerden kolay uzaklaştırılabilen, düşük alevlenme noktasına sahip, transfer tepkimelerine girmeme gibi özellikler göstermesi beklenir. Bu koşulları alifatik ve aromatik hidrokarbonlar, esterler, alkol ve eterler karşılarlar. Su tercih edilen bir çözücüdür, fakat monomerlerin çoğu organik karakterli olduğundan suda çözünmezler ve su içerisinde çözelti polimerizasyonları yapılamaz (poliakrilamit, poliakrilonitril, poli(akrilik asit) vb bazı polimerler suda çözünürler ve bunlar su ortamında sentezlenebilir).

Süspansiyon Polimerizasyonu: Çözelti polimerizasyonu sonunda çözücünün ortamdan alınması ve polimerde kalan çözücünün uzaklaştırılması, çözelti polimerizasyonunun zorunlu basamaklarıdır. Bu işlemler maliyeti arttırırken çözücünden kaynaklanan atmosfer kirliliğine de yol

açar. Polimerizasyon ortamı olarak suyun kullanılması çoğu açıdan avantajlıdır ve bu konuya yönelik araştırmalar sonucu süspansiyon ve emülsiyon polimerizasyonu teknikleri geliştirilmiştir. Süspansiyon polimerizasyonunda polimerizasyon ortamı sudur. Çoğu monomer suda çözünmediği için, su ile karıştırıldıklarında ayrı fazlar halinde ayrılırlar (su-zeytinyağı gibi). Süspansiyon polimerizasyonunda iyi bir karıştırma yaparak monomer su içerisinde damlalar halinde dağıtılır ve faz ayrılmasının önüne geçilir. Polimerizasyon ortamına su içerisinde dağılan monomer damlalarının birleşmesini önleyen stabilizatör (organik karakterdeki monomer damlaları ile polar su moleküllerinin temas yüzeylerini azaltan maddeler) katılır. Başlatıcı, organik fazda (monomerde) çözünür türdür. Ortama katılan başlatıcı monomer damlalarında çözünür ve sistem başlatıcının bozunma sıcaklığına ısıtıldığında polimerizasyon başlatıcı moleküllerinin bulunduğu monomer damlaları içerisinde başlar. Bu nedenle monomer damlaları, yığın polimerizasyonunun ilerlediği küçük birer polimerizasyon ortamına benzer.

Emülsiyon Polimerizasyonu: Bu teknik, süspansiyon polimerizasyonu gibi su ortamında gerçekleştirilen bir polimerizasyon tekniğidir. Süspansiyon polimerizasyonundan ayrıldığı temel nokta, emülsiyon polimerizasyonunda organik değil su fazında çözünen bir başlatıcı kullanılmasıdır. Emülsiyon polimerizasyonunun diğer polimerizasyon tekniklerinden üstün olduğu önemli iki nokta, polimerizasyon hızının yüksekliği ve yüksek mol kütleli polimer eldesidir. Emülsiyon polimerizasyonu ortamında bulunan temel maddeler; su, monomer, misel yapıcı ve başlatıcıdır. Misel yapıcılar, bir ucu hidrofilik, diğer ucu hidrofobik karakterde moleküllerdir.

Arayüzey Polimerizasyonu: Polimerizasyon tepkimelerinin önemli bir kısmı birden çok faz bulunan sistemlerde gerçekleştirilir. Örneğin süspansiyon ve emülsiyon polimerizasyonunda, polimerizasyonun yürütüldüğü ortam iki fazlı sistemlerdir. Ara yüzey polimerizasyonu iki fazlı sistemlerde yürütülen başka bir polimerizasyon tekniğidir. Emülsiyon ve süspansiyon yöntemlerinde karıştırma yapılarak fazlar birbiri içerisinde dağıtılırken, arayüzey polimerizasyonunda karıştırma yapılmaz ve iki faz ara yüzeyleri birbirleri ile temas ederler. Arayüzey polimerizasyon tekniği basamaklı polimer sentezine yatkındır. Poli(hekzametilen sebakamit) (naylon 6-10), diklorür ve hekzametilen diaminden çıkılarak arayüzey polimerizasyonu ile hazırlanır. Bir beher içerisine sebakoil klorürün karbontetraklorürdeki çözeltisi konur ve üzerine yavaş yavaş hekzametilen diaminin sudaki çözeltisi eklenir. Çözeltilerin temas noktası olan iki sıvı tabakasının arayüzeyinde polimerizasyon ilerler. Polimerizasyon ortamına yan ürün olan hidroklorik asiti nötralleştirecek kadar baz konmalıdır. Böylece asitin tepkimeye girmemiş aminle tuz vererek polimerizasyon hızını düşürmesi engellenir. Arayüzey polimerizasyonunda monomer derişimlerinde, dolayısıyla fonksiyonel grup sayılarında tam bir stokiyometrik denklik gerekliliği yoktur. Diamin veya dikarboksilik asit klorürden birisi tükenene

kadar polimerizasyon devam eder. Polimerizasyon tepkimesi difüzyon kontrollü olduğu için, çözeltilerin arayüzeyinde oluşan naylon 6-10 polimerinin sürekli sistemden uzaklaştırılması gerekir. Bu işlem yapılmadığında, polimer sıvıların arayüzeyinde bir film oluşturarak, diamin ve dikarboksilik asit klorürün birbiriyle etkileşimini engeller ve polimerizasyon ilerleyemez.

DENEYSEL UYGULAMALAR

Akrilamid monomerinin sulu çözeltisi hazırlandıktan sonra uygun bir çapraz bağlayıcı ve başlatıcı varlığında polimerleştirilmesi sağlanır.

Hazırlık soruları

1. Katılma ve basamaklı polimerizasyon hakkında kısaca bilgi veriniz.
2. Polimerizasyon tekniklerini kısaca anlatınız.

Kaynaklar

Prof. Dr. Mehmet Saçak, Polimer Teknolojisi, Gazi Kitabevi, Ankara (2005).