ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MAKİNE LABORATUVARI II

Şubat - 2026

İÇİNDEKİLER

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ MAKİNE LAB. II DENEY PROGRAMI 3
LABORATUVAR VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR İÇİN ÇALIŞMA VE İŞ GÜVENLİĞİ KURALLARI.. 4
LABORATUVAR DERSİNDE UYGULANACAK KURALLAR 5
DENEY 1: PELTON TÜRBİNİ DENEYİ 6
DENEY 2: KAYNAMA DENEYİ 11
DENEY 3: XRD VE SEM UYGULAMALARI DENEYİ 19
DENEY 4: YOĞUŞMA DENEYİ 29
DENEY 5: KİRİŞTE EĞİLME MOMENTİ DENEYİ 42
DENEY 6: SERİ / PARALEL SANTRİFÜJ POMPA DENEYİ 47
DENEY 7: MEKANİK TİTREŞİM DENEYİ 58
DENEY 8: KOROZYON DENEYİ 63
DENEY 9: KAYNAK DENEYİ 70
DENEY 10: DOĞAL VE ZORLANMIŞ TAŞINIM DENEYİ 77

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ MAKİNE LAB. II DENEY PROGRAMI

2025-2026 ÖĞRETİM YILI BAHAR YARIYILI

Hafta	Tarih	Deney Adı	Saat
1. Hafta	09.02.2026	**İş Sağlığı ve Güvenliği / Tasarım Deneyi II Bilgilendirmesi**	
2. Hafta	16.02.2026	Pelton Türbini Deneyi	
3. Hafta	23.02.2026	Kaynama Deneyi	
4. Hafta	02.03.2026	XRD ve SEM Uygulamaları Deneyi	
5. Hafta	09.03.2026	Yoğuşma Deneyi	
6. Hafta	16.03.2026	Kirişte Eğilme Momenti Deneyi	
7. Hafta	23.03.2026	Mekanik Titreşim Deneyi	
8. Hafta	30.03.2026	**VİZE HAFTASI**	
9. Hafta	06.04.2026	Korozyon Deneyi	
10. Hafta	13.04.2026	Kaynak Deneyi*	
11. Hafta	20.04.2026	Doğal ve Zorlanmış Taşınım	
12. Hafta	27.04.2026	Seri ve Paralel Pompa Deneyi	
13. Hafta	04.05.2026	**Tasarım Deneyi II Dönem Sonu Sunumu**	13:00-15:00
14. Hafta	11.05.2026	**Mazeret nedeniyle girilemeyen deneylerin telafisi**	13:00-15:00
15. Hafta	18.05.2026		

D.No	Deneyin Adı	Laboratuvar	Öğretim Üyesi	Öğretim Elemanı
I	Pelton Türbini Deneyi	Enerji	Dr. Öğr. Üyesi M. Harun OSTA	Dr. Öğr. Üyesi M. Harun OSTA
II	Kaynama Deneyi	Akışkanlar	Prof. Dr. Kadir BİLEN	Arş. Gör. Dr. M. Taha TOPÇU
III	XRD ve SEM Uygulamaları Deneyi	Ar-Ge	Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU	Arş. Gör. Dr. Banı YAYLALI
IV	Yoğuşma Deneyi	Akışkanlar	Dr. Öğr. Üyesi. B. İsmet TOPRAK	Dr. Öğr. Üyesi. B. İsmet TOPRAK
V	Kirişte Eğilme Momenti Deneyi	Mekanik	Prof. Dr. Hamit AKBULUT	Arş. Gör. Merve YAZICI
VI	Mekanik Titreşim Deneyi	Makine Teorisi ve Dinamiği	Dr. Öğr. Üyesi Yeşim SEÇER	Dr. Öğr. Üyesi Yeşim SEÇER
VII	Korozyon Deneyi	Ar-Ge	Prof. Dr. Yaşar TOTİK	Arş. Gör. Dr. Burak ATİK
VIII	Kaynak Deneyi*	Merkezi Atölye	Prof. Dr. Ayhan ÇELİK	Arş. Gör .Dr. Ş. Merve TÜZEMEN
IX	Doğal ve Zorlanmış Taşınım	Akışkanlar	Prof. Dr. İsak KOTÇİOĞLU	Arş. Gör. Onur KÜÇÜKKURT
X	Seri ve Paralel Pompa Deneyi	Enerji	Prof. Dr. Kenan YAKUT	Arş. Gör. Ercan DOĞAN
XI	Tasarım Deneyi II		İlgili Öğretim Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi. B. İsmet TOPRAK

* Kaynak deneyi, Merkezi Atölye'de (Kaynak kısmında) yapılacaktır. Atölyeye ulaşımla ile ilgili sizlere bilgi verilecektir.

LABORATUVAR VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR İÇİN ÇALIŞMA VE İŞ GÜVENLİĞİ KURALLARI

1. Laboratuvarda ve deneysel çalışmalarda, çalışma düzeni bozacak veya tehlikeye yol açabilecek davranışlardan kaçınılmalıdır.
2. Sözlü veya yazılı bütün kurallara dikkatle uyulmalı, anlaşılmayan kısımlar laboratuvar sorumlularına sorulmalıdır.
3. Laboratuvara izinsiz girip çıkmak yasaktır.
4. Laboratuvarda ve deneysel çalışmalarda asla tek başına, izinsiz ve sorumlu kişi yokken çalışılmamalıdır.
5. Laboratuvarda sorumlu kişi izin vermedikçe hiçbir deney düzeneğine ve diğer malzemelere dokunulmamalıdır.
6. Deneysel çalışmalar sadece sorumlunun gösterdiği şekilde yapılmalı ve gösterilen yöntemden farklı bir yöntem izlenmemelidir.
7. Laboratuvar ekipmanları hiçbir zaman laboratuvar dışına çıkarılmamalı ve sorumlunun onayı alınmadan yeri değiştirilmemelidir.
8. Çalışmalarda kullanılan ekipmanda arıza tespit edilir ise laboratuvar sorumlusuna bildirilmelidir.
9. Çalışmalarda kullanılan ekipmanın hasar görmemesi için gerekli özen gösterilmelidir.
10. Laboratuvarda çalışıldığı sürece çalışmanın özelliğine göre gözlük, yüz maskesi, eldiven gibi koruyucu ekipmanlar kullanılmalıdır.
11. Laboratuvarda bulunan takım tezgâhları ve diğer el aletlerini sorumlu personel kullanır. Öğrenciler takım tezgâhları ve diğer el aletlerini kullanmamalıdırlar. Öğrencilerin bu aletleri kullanmaları tehlikeli ve yasaktır.
12. Elektrikli aletlerin elektrik bağlantısı yapılırken gerekli güvenlik önlemleri alınmalıdır.
13. Laboratuvar çalışması bittikten sonra kullanılan malzemelerin, deney düzeneğinin ve tezgâhların temizliği gereken özenle yapılmalıdır.
14. Hafta içi mesai saatleri dışında ve hafta sonları danışman olmaksızın öğrencilerin laboratuvarlarda çalışmaları yasaktır.
15. Laboratuvarda yemek ve içmek maksadıyla dışarıdan gıda maddesi getirmek yasaktır. Tüm öğrenciler laboratuvarları temiz tutmak için özen göstermeleri gerekir.
16. Laboratuvar ve deneysel çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliğini tesis etmek için belirtilen kurallara uyulması oldukça önemlidir. Çalışmalarda kurallara uymadığı belirlenen öğrenciler laboratuvar ortamından uzaklaştırılarak çalışmadan başarısız kabul edilirler.

LABORATUVAR DERSİNDE UYGULANACAK KURALLAR

1. ***İki deneye*** girmeyen öğrenci ***devamsızlıktan kalmış sayılacaktır.***
2. Deneylere öğrencilerin ***laboratuvar önlükleriyle*** gelmesi gerekmektedir.
3. Deney esnasında **disiplinsiz davranışlarda** bulunan öğrenci deneye ***katılamayacaktır.***
4. Deney öncesinde, deney föyünün dikkatlice okunması deneyin anlaşılması için çok önemlidir. Deney öncesinde, o ***deneyle ilgili yazılı veya sözlü sınav*** yapılacaktır.
5. Deney esnasında her öğrencinin ***deney föyü*** olmalıdır.
6. Deney sonrası hazırlanacak deney raporu ***en geç bir hafta sonra teslim*** edilecektir.
7. ***Vize notu***, deneylerde ***yapılan sınavlar ile rapor notlarının ortalamasından*** oluşacaktır.
8. Listede ismi olmayan öğrenciler ***ders koordinatörü*** ile görüşerek bir gruba dâhil edileceklerdir.
9. Öğrenci gruplarının tasarım deney konuları ***ilk hafta ilgili öğretim üyeleri ve takımlar tarafından belirlenir***.
10. Tasarım deneyi çalışmalarında; deney tasarlama, deney yapma, veri toplama, sonuçları analiz etme ve yorumlama faaliyetleri yapılır. Gruplar, ***kendi içlerinde bir grup lideri seçer*** ve talimat alma-verme süreci ile deney tasarlama faaliyetini yürütürler.
11. Tasarım deneyi sonuçları, gruplar tarafından ilgili tabloda ***belirlenen tarihlerde*** sunulur. Tasarım deneyi sunumları***; poster, deney tatbiki vb.*** uygulamalarla destelenebilir.
12. Tasarım deneyi puanı, ***yarıyıl sonu sınavı puanın %30'sine etki eder.***

ÖNEMLİ NOTLAR:

1- Deney föyleri kitapçık halinde ***fotokopi bürosundan*** temin edilebilir.

2- Tasarım deneyleri, öğrenciler deney föyü olmadan ***deney föyünü ve tasarımı kendilerinin hazırladığı*** bir deneydir. Deney konusu belirlenirken ilk iki hafta öğrenciler ve ilgili öğretim üyeleri problemin tanımını birlikte yapabilir ve deney tasarımı için yarıyıl sonuna kadar öğrenciler aşağıda belirtilenleri yapmakla görevlidirler.

- **a)** Problemin tanımını yapmak,
- **b)** Problemin çözümü için teorik bilgileri araştırmak,
- **c)** Problemin çözümümde kullanılacak deney tasarımını yapmak,
- **d)** Deney düzeneği için gerekli cihaz ve sarf malzemeleri belirlemek,
- **e)** Deney düzeneğini oluşturmak,
- **f)** Deneyenlerin yapılması ve veri toplanması,
- **g)** Hata analizlerinin yapmak, sonuçları analiz etmek ve yorumlamak.

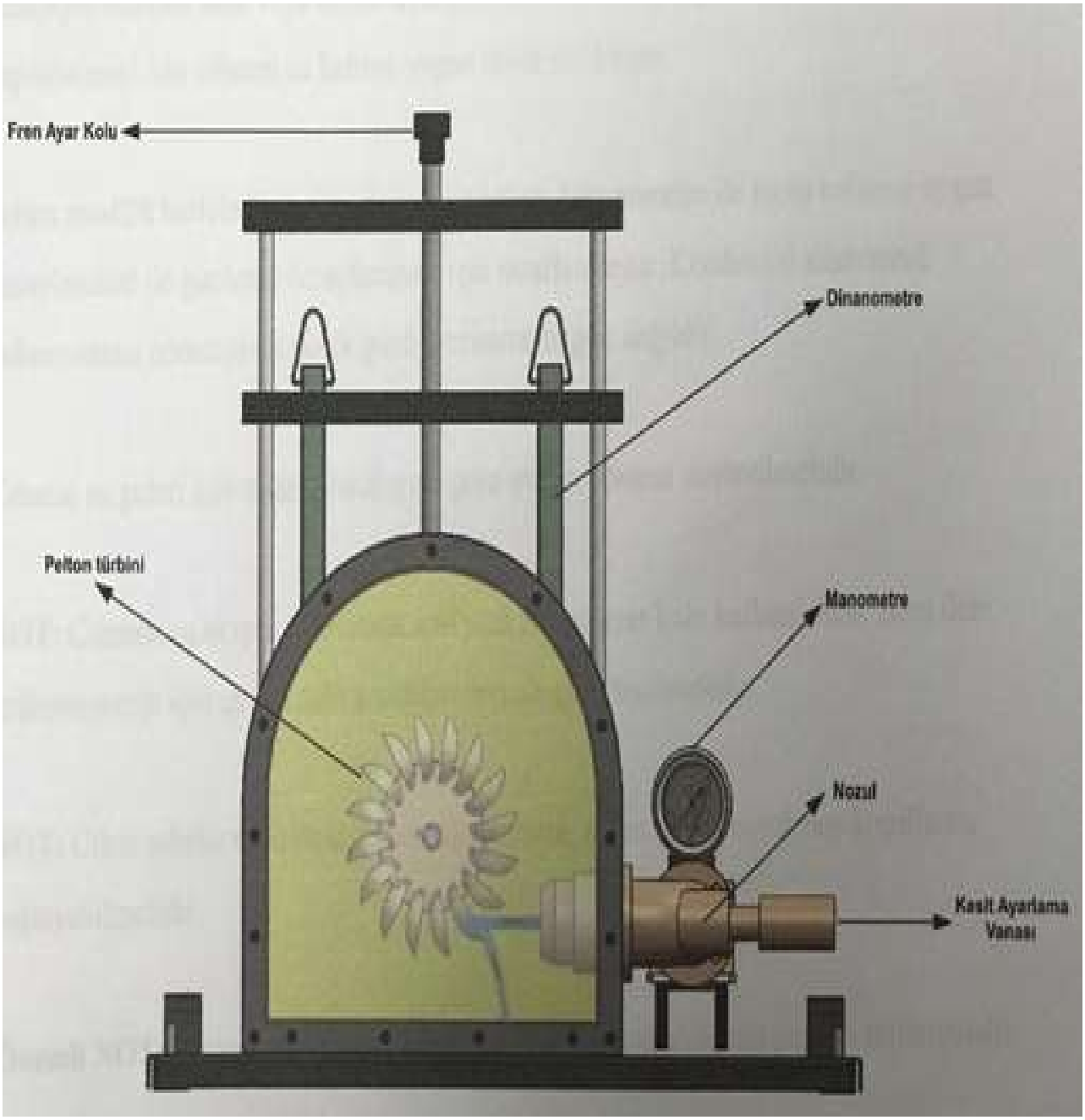
Arş. Gör. Ercan DOĞAN	Prof. Dr. Yaşar TOTİK
Ders Koordinatörü	Bölüm Başkanı

DENEY 1: PELTON TÜRBİNİ DENEYİ

PROF. DR. KENAN YAKUT **YER:** ENERJİ LABORATUVARI

DENEY SORUMLUSU: ARŞ GÖR. M. HARUN OSTA

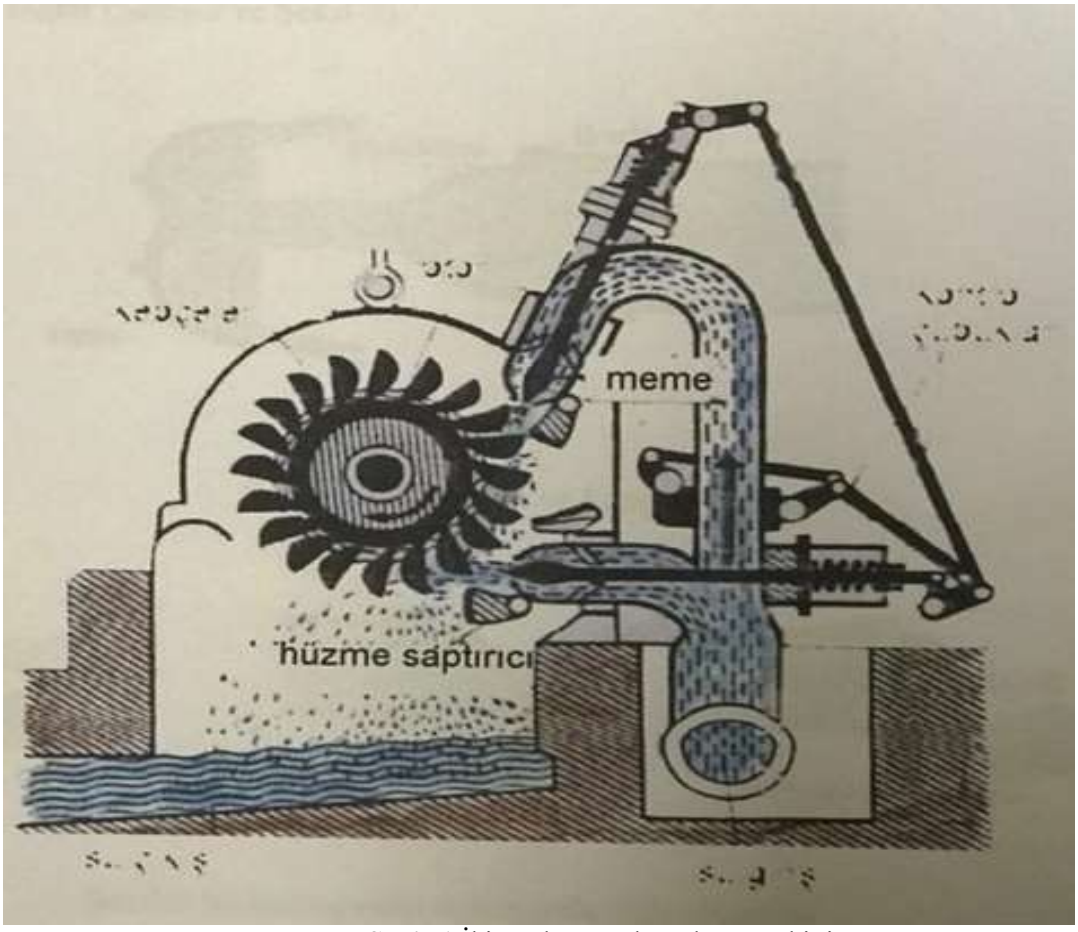
Pelton Türbini Deney Şeması



PELTON TÜRBİNLERİ

Pelton türbinleri genellikle su düşmesinin yüksek, debinin düşük olduğu yerlerde kullanılır. Pelton türbini bölgesel püskürtmeli olup, su kütlesi bir veya birkaç yerden fıskiye yardımıyla püskürtülür. Su, rotor kanatlarına giriş ve çıkışta atmosfer basıncına sahip olduğundan Pelton türbini, etkili bir türbindir. Türbin verimini yükseltmek için çarkın çevresel hızı, fıskiyeden püskürtülen su hızının yansına yakın alınır.

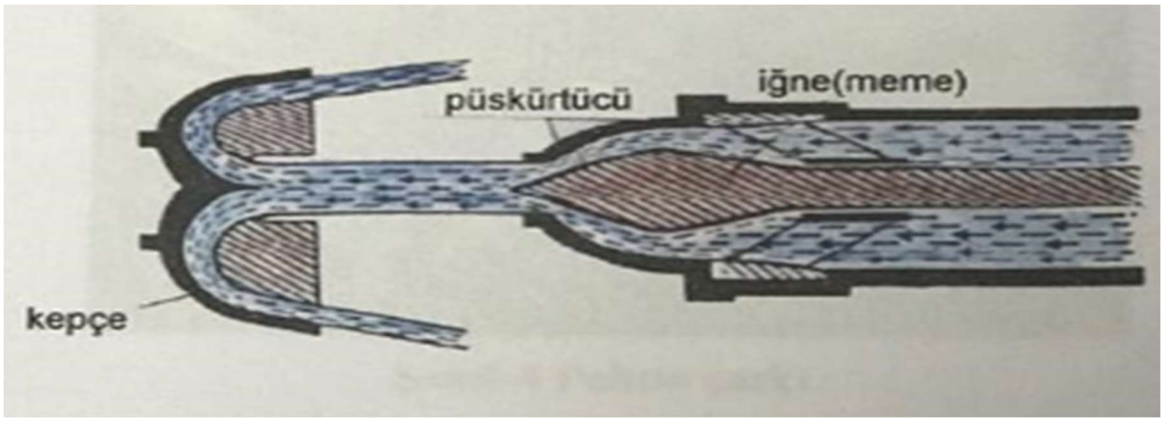
Pelton türbinlerinin ana kısımları, püskürtücü meme ve daire şeklindeki çarktan meydana gelir.



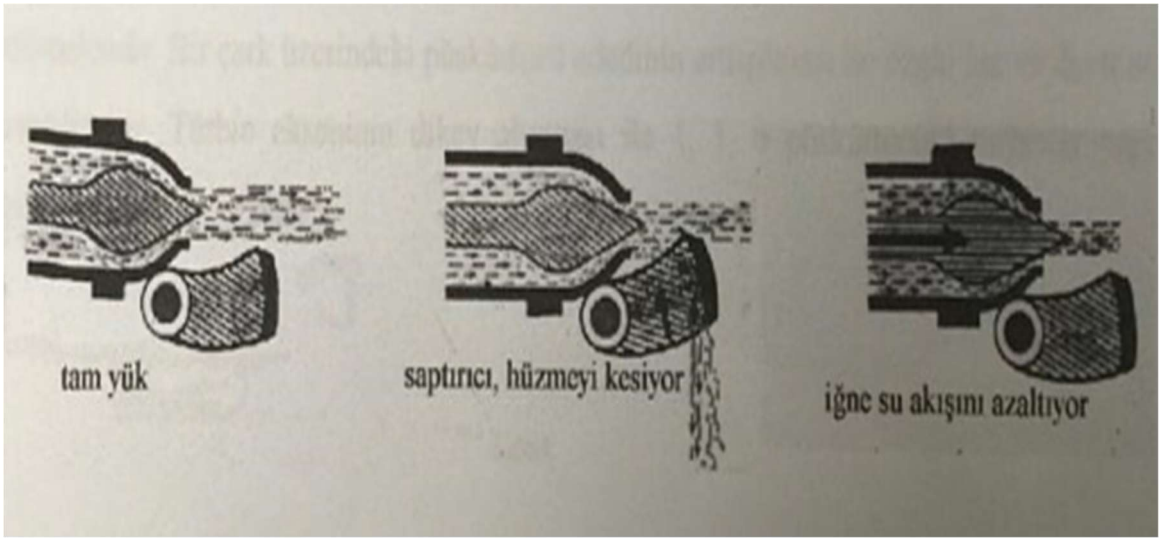
Şekil-1 İki Püskürtücülü Pelton Türbini.

1.PÜSKÜRTÜCÜ

Püskürtücü, cebri borudan gelen suyu sabit bir fıskiye gibi çarkın kepçelerine sevk etmeye yarar. Püskürtücünün içerisinde eksenel yönde hareket ederek debiyi ayarlayan bir iğne bulunur. İğnenin ileri geri hareketi ile debi azaltılıp çoğaltılarak türbin gücü, çekilen enerjiye göre ayarlanır. Aynı zamanda bu iğne, suyu tamamen kapatmaya yarar. Cebri boruda tehlikeli su darbelerinden kaçınmak için iğnenin yavaşça hareket ettirilmesi gerekir. Püskürtücünün daire şeklindeki meme ucundan su dışarı fırlar ve çark kepçelerine çarpar. Ayrıca püskürtücüye bağlı saptırıcı mevcuttur. Saptırıcı aynı hızda su huzmesinin debisinin değiştirilmesini sağlar (Şekil-2 ve Şekil-3).



Şekil-2 Püskürtücü ve kepçe



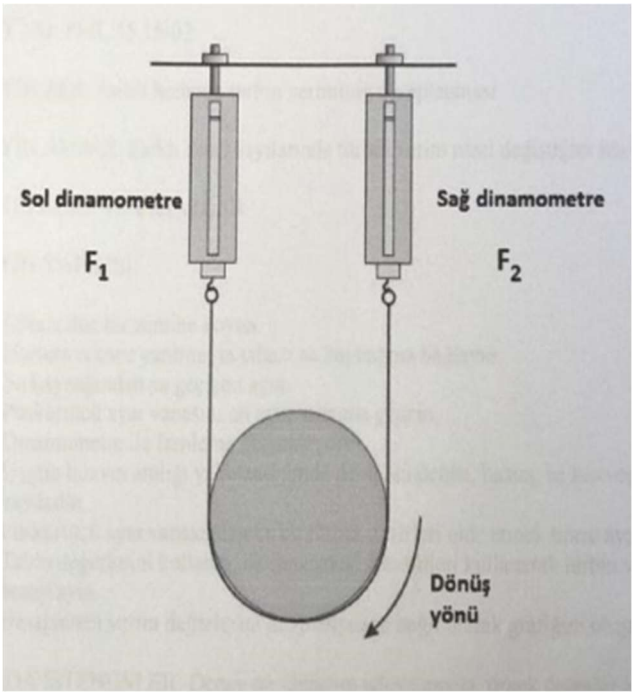
Şekil-3 Su haznesinin saptırıcı ile değiştirilmesi

2.ÇARK

Bir göbek üzerine monte edilmiş kepçe şeklinde kanatların bağlanmasından meydana gelmiştir. Kepçelerin her biri kaşık şeklinde oval olup su huzmesinin çark miline eksenel bir itme yapmasını engellemek için çift yönlü atacak şekilde tasarlanmaktadır (Şekil-4).



Şekil-4 Pelton Çarkı



Şekil-5 Pelton türbini dinamometre kullanımı

Pelton türbinlerinin grubu gitgide büyümektedir. Günümüzde 250 000 BG'de gruplar imal edilmektedir. Bir çark üzerindeki püskürtücü adedinin arttırılması ile özgül hız ve devir sayısı arttırılmıştır. Türbin ekseninin dikey alınması ile 4,5,6 püskürtücülü türbinler yapmak imkânı olmuştur.

Frenleme kuvveti hesaplanırken, dönüş yönü hesaba katılmalıdır. Cihazın dönüş yönündeki kuvvet ile ters kuvvet birbirinden çıkarılır.

Bu durumda frenleme kuvveti;

$F=F_2-F_1$ olarak bulunur.

Verim formülü; $\eta = \frac{P_h}{P_T}$

DENEYİN ADI: Farklı hızlarda türbin veriminin hesaplanması

DENEYİN AMACI: Farklı devir sayılarında türbin veriminin nasıl değiştiğini kavramak.

TABLO

Devir [d/d]	1.Adım	2.Adım	3.Adım	4.Adım
Dinamometre kuvveti F [N]				
Su debisi Q [m^3/h]				
Su giriş basıncı P_1 [bar]				
Türbin devri n [d/d]				

DENEY 2: KAYNAMA DENEYİ

PROF. DR. KADİR BİLEN

YER: AKIŞKANLAR LABORATUVARI

DENEY SORUMLUSU: ARŞ GÖR. TAHA TOPÇU

1. Giriş

Pek çok uygulama alanında sıcak bir ortamdan soğuk bir ortama ısı transferi gerçekleştiğinde kaynama ve yoğuşma olayları gözlemlenir. Örneğin, buhar tesislerinde termal ve nükleer güç üretiminde, soğutmada, arıtmada ve ısı geçişinin olduğu yerlerde karşılaşılır.

Doyma sıcaklığındaki bir sıvı daha yüksek sıcaklıktaki bir katı yüzeyle temas ettiği zaman sıvıya ısı transfer edilir ve sıvı halden buharlaşmaya doğru hal değişimi olur. Bu ısı transferinin yapısı ve oranı metal yüzeyinin sıcaklığı ile artan sıvı sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının da artmasıyla önemli oranda değişir.

Kaynamanın herkes tarafından bilinmesine rağmen, buhar kabarcıklarının oluşumu oldukça ilgi çekici ve karmaşık bir süreçtir. Yüzey geriliminden dolayı kabarcık içerisindeki buharın basıncı çevredeki sıvının basıncından daha yüksek olur. Buhar kabarcıklarının çapı küçüldüğü zaman basınç farkı artar ve kabarcık çok genişlediği zamanda basınç farkı önemsiz bir değer alır. Bununla birlikte, kabarcık küçük bir sekle geldiğinde fark edilebilir bir basınç farkı oluşur.

Kabarcığın içindeki basınç çevredeki sıvının sıcaklığına uygun bir buhar basıncı değerindedir. Bundan dolayı kabarcıklar oluşmadığı zaman (ya da çok küçük olduğunda) ısı transferi yüzeyinin bulunduğu bölgedeki sıvı sıcaklığı için sıvının büyük kısmının sıcaklığının üzerinde daha iyi olması mümkündür. (Serbest sıvı-buhar ara yüzeyinde basınçla uygun doyma sıcaklığında bu olayın olması daha yakındır.)

Kabarcıkların oluşması normal olarak yukarıda sözü edilen kısmındaki kaynamayla ortaktır.

1.1 Taşınım ile Kaynama

Isıtılan metal yüzeyin sıcaklığı sıvının doyma sıcaklığından biraz daha fazla sıcaklıkta olduğunda buhar kabarcıklarının oluşumu için yeterli buhar basıncı mevcut değildir. Yerel olarak ısınan sıvı genişler ve genişleyen sıvı buharlaşmanın başladığı ve ısıl dengenin yeniden elde edildiği sıvı-buhar ara yüzeyine konveksiyon akımları ile taşınır. Bundan dolayı, bu şekilde buharlaşma küçük sıcaklık farklarında meydana gelir ve kabarcık oluşumu olmaz.

1.2 Kabarcıklı Kaynama (Çekirdekli Kaynama)

Metal yüzey daha fazla sıcaklıklara sahip oldukça buhar basıncı aşırı olarak yerel sıvı basıncının üzerine yükselir ve sonuçta kabarcıklar oluşur. Bir kabarcık oluşur oluşmaz hızlıca genişler. Kaldırma kuvveti yüzeyden kabarcıkları kaldırır ve başka kabarcıklar oluşmaya başlar.

Kabarcıklı (çekirdekli) kaynama güçlü kabarcık oluşumu ve türbülans ile tanımlanır. Pratik uygulamalarda kaynama hemen hemen daima bu şekilde gerçekleşir.

1.3 Film Kaynama

Isıtıcı yüzeyinde çok hızlı bir şekilde buhar kabarcığı üretildiğinden, ısıtıcı yüzeyinin büyük bölümü buharla temas etmeye başlar. Sıcaklık artarken kritik yüzey-sıvı sıcaklığı değerine erişildiğinde ısı akısı maksimum değerine erişir ki bu noktaya kritik nokta, bu noktadaki ısı akısı değerine de kritik ısı akısı denir. Bu kritik noktadan sonra, ısıtıcı yüzeyinde kabarcıklar o kadar hızlı üretilmektedir ki ısıtıcı yüzeyinin önemli bir kısmı adeta bir buhar örtüsü ile kaplanmış gibi gözükür. Bunun sonucu olarak da buharın ısı iletim katsayısının, sıvının ısı iletim katsayısından çok daha küçük olması nedeniyle, bu bölgede sıcaklık artarken hem ısı taşınım katsayısı hem de ısı akısı azalır. Buhar örtüsünü oluşturan film zaman zaman yırtılıp serbest yüzeye doğru hareket ettiğinden buradaki film yapısı bir bakıma kararsız bir yapıdır.

Belirli bir noktada yüzeydeki buhar örtüsü kararlı bir hal alır ve bu noktada ısı akısı en küçük değerini alır. Çünkü Leidenfrost noktası olarak adlandırılan bu noktada ısı, ısıtıcıyı kaplamış gibi gözüken buhardan sıvıya büyük ölçüde iletim yoluyla geçer. Bu noktadan itibaren, ısı geçişinde ışınım mekanizmasının önem kazanması nedeniyle, artan sıcaklık ile ısı akısı tekrar artmaya başlar. Isıtıcı yüzeyinde çok hızlı bir şekilde buhar kabarcığı üretildiğinden yüzey adeta kararlı bir buhar örtüsü tarafından kaplanmış gibi gözükür ve bu bölge aynı zamanda kararlı film kaynaması bölgesi olarak da isimlendirilir.

Kaynamadaki 3 Durumun Deneysel Olarak Gösterimi

Elektrik ve su girişi açılır ve her ikisi de düşük değerlerde olacak şekilde ayarlanır. Dijital termometrenin dengesi sağlanır. Sık aralıklarla sıvının sıcaklığı gözlemlenir.

Isıtıcının çevresindeki sıvının durumu dikkatlice izlenir. Bu sırada konveksiyon akımları gözlemlenecek ve aynı zamanda düşük hızda olmasına rağmen buharlaşmanın oluştuğunu gösteren kondenser sargılarında sıvının biriktiği ve damlamanın olduğu görülecektir. Soğutma suyunun debisi ayarlanarak buhar basıncı istenilen her sabit değerde tutulur ve güç arttırılır.,

Kabarcıklı (çekirdekli) kaynama daha sonra başlayacak ve kaynama tam olarak görülene kadar artacak ve sıvı ile metal arasındaki ortalama sıcaklık farkı <20 K olacaktır.

Güç girişinin değeri artırılır ve 200-300 watt arasında kaynamanın yapısı görülecek ve aynı zamanda metal-sıvı sıcaklık farkı hızlı bir şekilde yükselecek. Buharlaşma oranı daha düşük bir seviyeye düşer ve su akış oranı daimi (kararlı) bir basınç değerine ulaşmak için tekrar azaltılır. Isıtıcı yüzeyin dikkatli bir şekilde gözlemlenmesi ile hemen hemen bozulmayan bir buhar yüzeyin kapladığı görülecektir ve bu ısı transfer oranının azalmasının sonucudur.

Giriş elektrik gücü sıfıra düşürülür. Metal-sıvı sıcaklık farkı yaklaşık 40 ^{o}K'e düştüğünde birdenbire kaynamanın güçlü bir şekilde film kaynamasından kabarcıklı kaynamaya tekrar dönüşür.

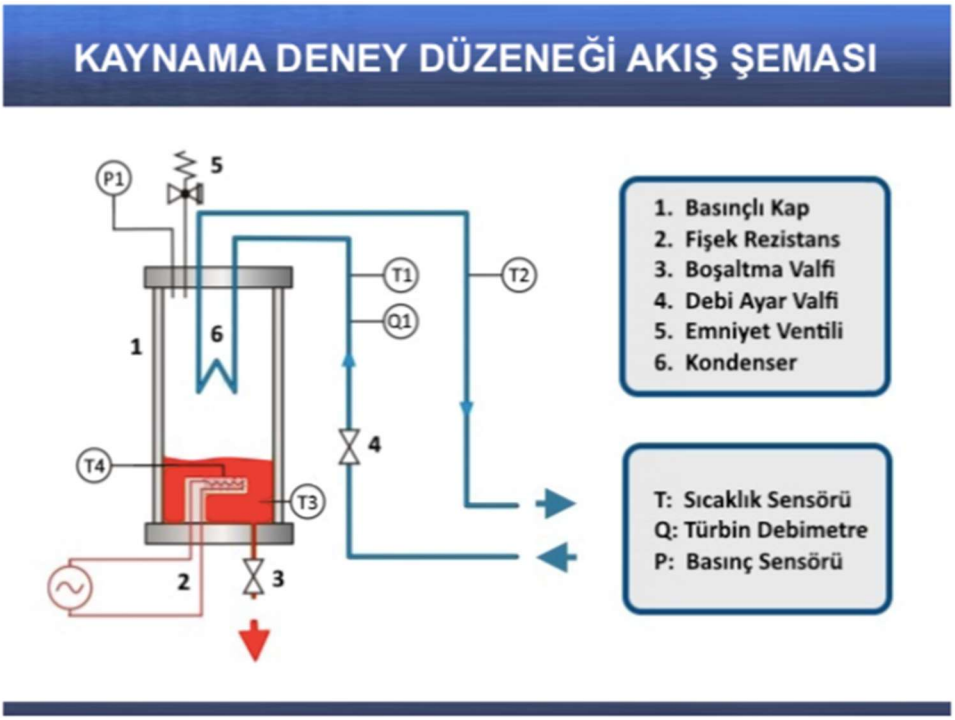
Faydalı Bilgiler

- Isıtıcı Yüzeyin Boyutları: Etkin uzunluk: 29,5 mm Çap: 12,7 mm Yüzey alanı: 0,0013 m^2
- Kondanser Yüzey Alanı: 0,032 m^2
- Max. İzin Verilen Yüzey Sıcaklığı: 270 ^oC
- Isıtıcı Kesici Sıcaklığı: 220 ^oC
- Akışkan: Saf su
- Akışkan Miktarı: Sıvı seviyesi ısıtıcının üzerinde 50 mm'den daha az olmamalıdır.
- Odadan Çevreye Olan Isı Transferi: 0,8 W/K

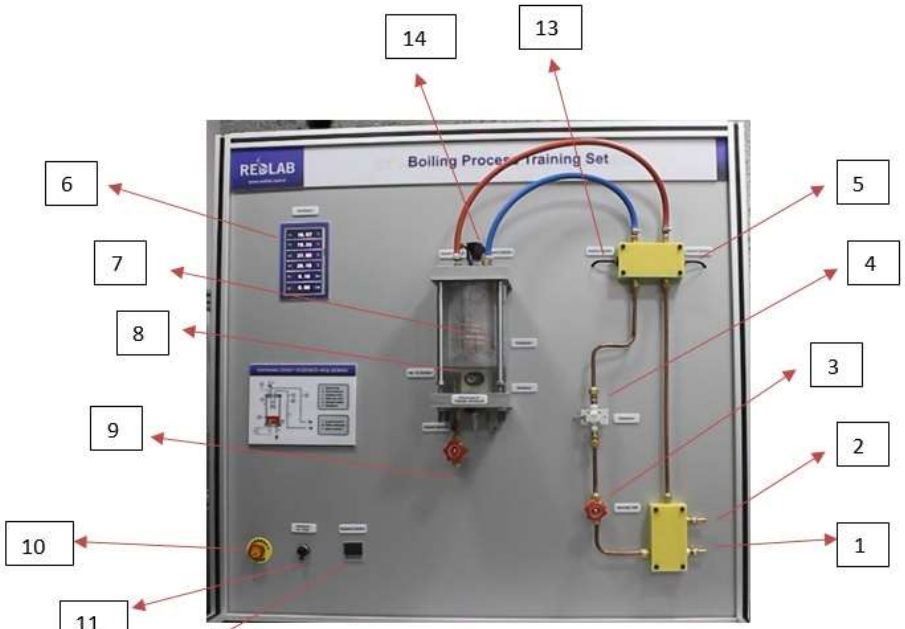
Deneyin Yapılışı

Bu deneyin yapılması sırasında ilk olarak elektrik ve su girişi açılarak cihaz çalıştırılır. Başlangıçta cihaza verilen elektrik ve su girişi düşük ayarlarda olacak şekilde ayarlanır. Daha sonra kaynama aşamalarının elde edilmesi için düşük güçlerden daha yüksek güçlere doğru kademe kademe cihaza verilen güç değerleri arttırılır. İçerideki sıcaklığın ve basıncın iyi bir şekilde değişimini gözlemleyebilmek için su debisi sabit oranda tutulur. Ayarlanan her yeni güç değerinde silindir içerisindeki sıvının durumu ve sıcaklıklar gözlemlenir ve not edilir.

Deney Düzeneği



Şekil1. Kaynama Deney Düzeneği Akış Şeması Resmi



Şekil2. Kaynama Deney Düzeneği Resmi

1. Su girişi, 2. Su çıkışı, 3. Soğutma suyu debi ayar valfi, 4. Debimetre, 5. Sıcak su sıcaklık sensörü, 6. Veri ekranı, 7. Kondenser, 8. Fişek rezistans, 9. Boşaltma vanası, 10. Acil stop, 11. Rezistans aç kapa, 12. Rezistans kontrol modülü, 13. Soğutma suyu sıcaklık sensörü, 14. Basınç sensörü

Deneyin Yapılışı

Elektrik gücü öncelikle düşük bir değerde ayarlanır. Daha sonra su akış hızının ayarlanması ile içeride belirli bir basınç oluşturulur. İlk başlangıç için bu değerlerde belirli bir şart yoktur. Önemli olan ilk ayarladığımız debi ve sıcaklığın etkisiyle içeride herhangi bir değerde basınç oluşturmaktadır. Verilen ilk güç değeri ve debi ayarıyla silindir cam odanın içinde oluşan buhar basıncı basınç göstergesinden okunur ve not alınır. Sonra sistemin gücü arttırılır. Bu sırada önemli olan basıncı ilk okunan değerde sabit tutacak debinin ayarlanmasıdır.

Gücün arttırılması sonucu içerideki sıvının sıcaklığı artar ve buna bağlı olarak da basınçta artar. Bu basıncın artmasını engelleyip sabit bir değerde tutmak için de su akış hızının arttırılması ve içerinin daha fazla soğutulması gerekir. Kısacası basıncın sabit değerde kalması için kondenser sargılarında dolaştırılan suyun debisi arttırılır. Bu ayarlamanın sonucunda akış daimi olduğunda 5 dakika beklenir ve sistem dengeye gelince gözlem sonuçları not alınır ve başka deneyler yapılarak aynı işlemler tekrarlanır.

Deney No / Veriler	1	2	3	4	5	6	7
Su Debisi (g/s)	10	10	10	10	10	10	10
Manometrik Basınç (kN/m^2)	1	7	30	32	38	30	28
Mutlak Basınç (kN/m^2)	101	107	130	132	138	130	128
Su Giriş .Sıcaklığı (^oC)	18	17	17	17	17	17	17
Su Çıkış Sıcaklığı (^oC)	18,5	17,5	19	21	23	19	18
Metal Yüzey Sıcaklığı (^oC)	51	50	56	58	60	232	50
Sıvı Sıcaklığı (^oC)	20	35	42	43	44	42	42

Metal yüzey sıcaklığı 51 derece ve 10 g/s su debisi cihaza uygulanır. Sistem dengeye gelene kadar beklenir. Sistemin dengeye gelmesi dijital termometreden okunan sıcaklığın belirli bir değerde kalmasıdır. Yapılan deney sonucu konveksiyon akımlarının oluştuğu ve bu akımların düşük hızda olmasına rağmen odanın camlarından bir buharlaşmanın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Buharlaşmanın gerçekleşmesiyle kondenser sargılarında yoğuşmanın gerçekleştiğini gösteren damlacıkların oluştuğu gözlemlenmiştir. Fakat henüz yoğuşma miktarı düşüktür. Sıvı ısındıkça genişliyor ve ısınan sıvı konveksiyon akımları ile sıvı-buhar ara yüzeyine taşınıyor. Yani 1 nolu deney kaynamanın doğal taşınılma olan şeklidir. Güç arttıkça metal yüzey sıcaklığı ve sıvının sıcaklığı da artmıştır. Aradaki sıcaklık farkının artmasıyla ısı transferi oranı da değişir. Artan güç değerleri ile yüzey sıcaklığının artması buhar basıncını da arttırmaktadır. Buhar basıncının artması kızma farkını arttırır ve kabarcık oluşmaya başlar. 2 nolu deneyde bu şekilde kabarcık oluşumları başlamıştır. Daha sonraki 3 ve 4 nolu deneylerde ise kabarcık oluşumu gittikçe artmıştır. Burada oluşan kabarcıklar sıcaklığın artmasıyla genişliyor ve kaldırma kuvveti ile kabarcıklar yüzeyden ayrılıyor ve yüzeyde yeni kabarcıkların oluşumu gerçekleşiyor. Kabarcıklardaki artış kabarcıkların etkileşmesi ve birleşmesine neden olmaktadır. 5 ve 6 nolu deneylerde sıcaklık artmıştır ve 6 nolu deneyde kritik yüzey sıcaklığının üzerine çıkmıştır. Bu şekilde sıcaklığın artması kabarcık oluşumunu çok fazla hızlandırmıştır ve yüzeyi ıslatmayan buhar örtüsü oluşmuştur. 7 nolu deneyde olduğu gibi elektrik gücünün azaltılması ile film kaynaması gerçekleşir. Gücün azalması ısı akısının değerinin azalmasına yol açtığı için yüzey tamamen bir buhar örtüsü ile kaplanmıştır. Buhar filminin taşıdığı sıvı damlacıkları, yüzey etrafında hareket ederken yavaşça buharlaşır. Elektrik gücü sıfıra düşürüldüğünde ise sıcaklık farkı 40 K'lere düştüğünde birdenbire kaynama çok güçlü bir şekilde gerçekleşir ve bu şekilde film kaynamasından kabarcıklı kaynamaya dönüşüm olur.

Taşınım ile Kaynama

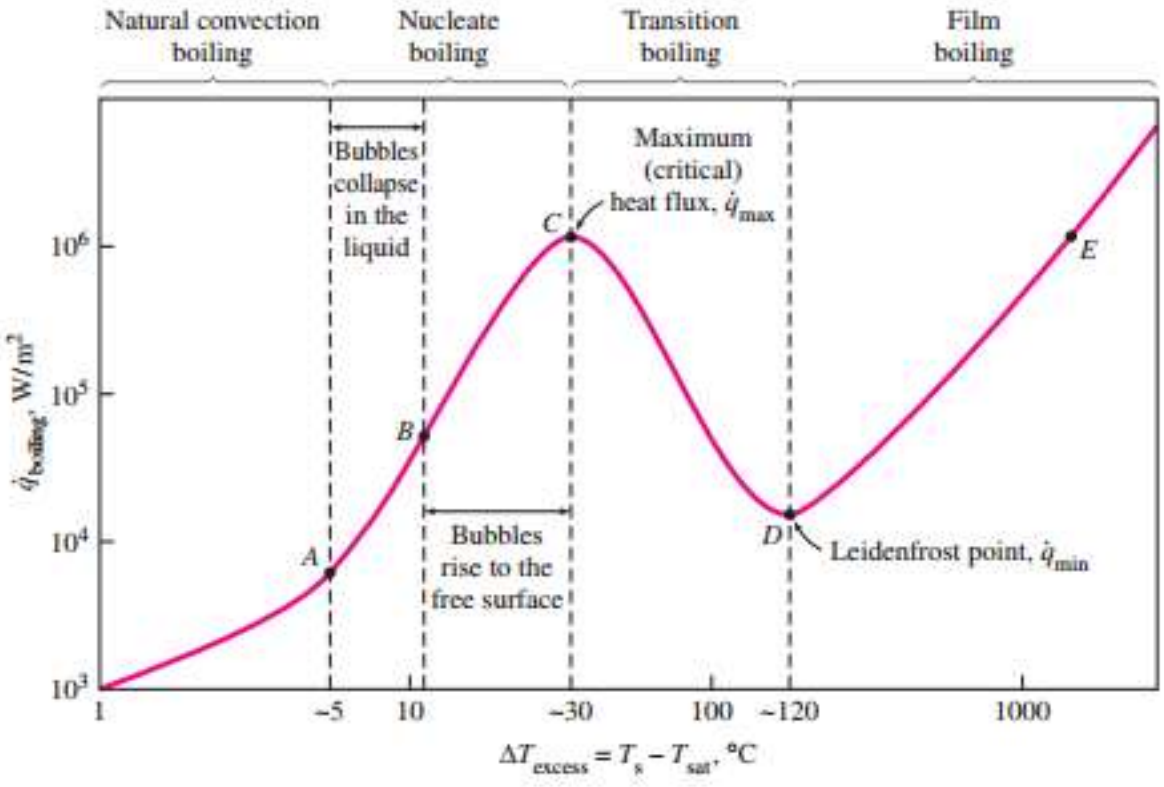
Yunus A. Çengel, Isı ve Kütle Transferi, 9. Bölüm Doğal Taşınım kısmından faydalanılabilir. İlgili bölümde tablo halinde verilen ampirik Nusselt sayısı bağıntılarından yatay silindir için olanı seçilerek Nusselt sayısı hesaplanmalı, ardından

$$Nu = \mathrm{h}L_C/k$$

bağıntısından yararlanılarak ‘’h’’ ısı transfer katsayısı ve ‘’Q’’ ısı transfer miktarı hesaplanmalıdır.

Kabarcıklı Kaynama Yunus A. Çengel, Isı ve Kütle Transferi, 10. Kaynama ve Yoğuşma kısmından faydalanılabilir. İlgili bölümde verilen ‘’$\dot{q}_{kabarcıklı}$’’ kabarcıklı kaynama için ısı akısı eşitliği kullanılarak, ısı akısı belirlenmeli ve ‘’Q’’ ısı transferi hesaplanmalıdır.

Film Kaynama Yunus A. Çengel, Isı ve Kütle Transferi, 10. Kaynama ve Yoğuşma kısmından faydalanılabilir. İlgili bölümde verilen ‘’$\dot{q}_{film}$’’ film kaynama için ısı akısı eşitliği kullanılarak, ısı akısı belirlenmeli ve ‘’Q’’ ısı transferi hesaplanmalıdır.



Deney Numarası	1	2	3
Kaynama Karakteristiği			
Basınç (bar)			
Yüzey Sıcaklığı (^{o}C)			
Sıvı Sıcaklığı (^{o}C)			
Su Giriş Sıcaklığı (^{o}C)			
Su Çıkış Sıcaklığı (^{o}C)			
Su Debisi (L/h)			

DENEY 3: XRD VE SEM UYGULAMALARI DENEYİ

PROF. DR. İHSAN EFEOĞLU YER: AR-GE LAB
DENEY SORUMLUSU: ARŞ GÖR. DR. BANU YAYLALI

1.ELEKTRON TARAMALI MİKROSKOP (SEM)

İnsan gözünün çok ince ayrıntıları görebilme olanağı sınırlıdır. Bu nedenle görüntü iletimini sağlayan ışık yollarının merceklerle değiştirilerek, daha küçük ayrıntıların görülebilmesine olanak sağlayan optik cihazlar geliştirilmiştir. Ancak bu cihazlar, gerek büyütme miktarlarının sınırlı oluşu gerekse elde edilen görüntü üzerinde işlem yapma imkânının olmayışı nedeniyle araştırmacıları bu temel üzerinde yeni sistemler geliştirmeye itmiştir. Elektronik ve optik sistemlerin birlikte kullanımı ile yüksek büyütmelerde üzerinde işlem ve analizler yapılabilen görüntülerin elde edildiği cihazlar geliştirilmiştir. Elektrooptik prensipler çerçevesinde tasarlanmış taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope-SEM), bu amaca hizmet eden cihazlardan birisidir. Taramalı Elektron Mikroskobu, birçok dalda araştırma-geliştirme çalışmalarında kullanımı yanında, mikro elektronikte yonga üretiminde, sanayinin değişik kollarında hata analizlerinde, biyolojik bilimlerde, tıp ve kriminal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk ticari taramalı elektron mikroskobu 1965'de kullanılmaya başlanmış, bundan sonra teknik gelişmeler birbirini izlemiştir.

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir.

Gerek ayırım gücü (resolution), gerek odak derinliği (depth of focus) gerekse görüntü ve analizi birleştirebilme özelliği, taramalı elektron mikroskobunun kullanım alanını genişletmektedir. Örneğin 1000X büyütmede optik mikroskobun odak derinliği yalnızca 0.1 μm iken taramalı elektron mikroskobunun odak derinliği 30 μm. dir. Tablo 1' de ışık mikroskobu ile elektron mikroskobu özellikleri bakımından karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Mikroskopların farklı özellikleri

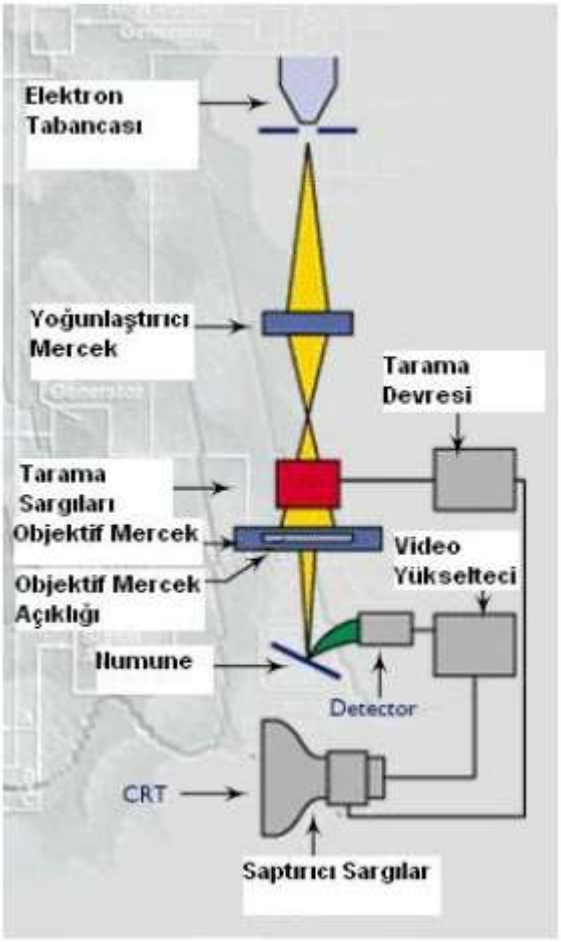
	Işık Mikroskobu	**Elektron Mikroskobu**
Aydınlatma Kaynağı	Görünür ışınlar (λ=550 nm)	Elektron demeti (λ=0.005 nm)
Çözünürlük	0.25μm	0.05nm
Max büyütme	1400X	300000X

Günümüzde modern taramalı elektron mikroskoplarının ayırım gücü 0,05 nm'ye kadar inmiştir. Büyütme miktarı ise 5X - 300 000X arasında değişmektedir.

1.1. Çalışma Prensibi

Taramalı Elektron Mikroskobu Optik Kolon, Numune Hücresi ve Görüntüleme Sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır (Şekil 2). Optik kolon kısmında, elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru ***hızlandırmak*** için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası, ince elektron demeti elde etmek için yoğunlaştırıcı mercekler, demeti numune üzerinde odaklamak için objektif merceği, bu merceğe bağlı çeşitli çapta apatürler ve elektron demetinin numune yüzeyini taraması için tarama bobinleri yer almaktadır. Mercek sistemleri elektromanyetik alan ile elektron demetini inceltmekte veya numune üzerine odaklamaktadır. Tüm optik kolon ve numune 10-4 Pa gibi bir vakumda tutulmaktadır.

Görüntü sisteminde, elektron demeti ile numune girişimi sonucunda oluşan çeşitli elektron ve ışımaları toplayan dedektörler, bunların sinyal çoğaltıcıları ve numune yüzeyinde elektron demetini görüntü ekranıyla senkronize tarayan manyetik bobinler bulunmaktadır.

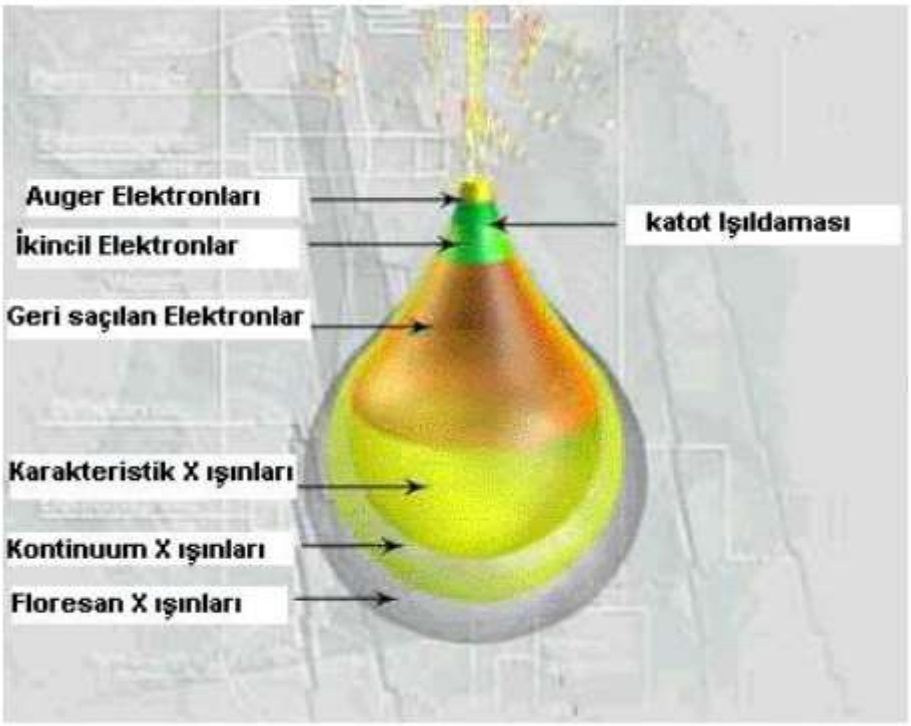


Şekil 2. Taramalı elektron mikroskobunun şematik görünüşü

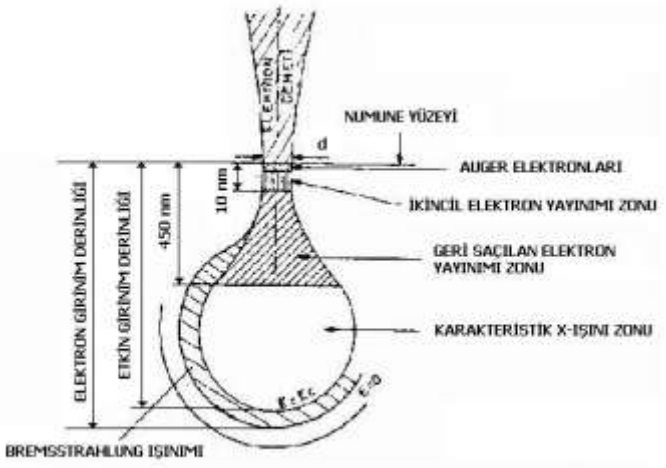
1.2. Demet Numune Etkileşimi ve Sonuçları

Yüksek voltaj altında ivmelendirilen elektron demeti ile numune arasındaki etkileşim sonuçları Şekil 3'de şematik olarak gösterilmektedir. Bu girişim hacmi su damlası görünümü olarak tanımlanır. Yüksek enerjili demet elektronları numune atomlarının dış yörünge elektronları ile elastik olmayan girişimi sonucunda düşük enerjili Auger elektronları oluşur. Bu elektronlar numune yüzeyi hakkında bilgi taşır ve Auger Spektroskopisinin çalışma prensibini oluşturur. Yine yörünge elektronları ile olan girişimler sonucunda

yörüngelerinden atılan veya enerjisi azalan demet elektronları numune yüzeyine doğru hareket ederek yüzeyde toplanırlar. Bu elektronlar ikincil elektron (seconder electrons) olarak tanımlanır. İkincil elektronlar numune odasında bulunan sintilatörde toplanarak ikincil elektron görüntüsü sinyaline çevrilir. İkincil elektronlar numune yüzeyinin 10 nm veya daha düşük derinlikten geldiği için numunenin yüksek çözünürlüğe sahip topografik görüntüsünün elde edilmesinde kullanılır.



(a)



(b)

Şekil 3. Elektron demeti ile numune arasındaki etkileşim

1.3. Numune Hazırlama

SEM içinde incelenen numuneler iletken olanlar ve olmayanlar şeklinde iki kategoriye ayrılabilir. Numune hazırlama esnasında hesaba katılabilecek faktörler aşağıda verilmiştir:

1. Numunenin büyüklüğü (gerekirse), numuneyi koyacak veya tutacak yere (holders and stages) uyması için küçültülmelidir.

2. Madde SEM içindeki yüksek vakuma karşı koyabilmelidir. Maddenin şekil değişmemeli ve fazla gaz çıkarmamalıdır. Burada soğuk stage yardımcı olabilir.

3. Numune temiz, tozsuz, lekesiz ve yağsız olmalıdır. (Bunların oluşu yük birikimi ve kirlenme etkilerine yol açabilir.)

4. Numunenin altınla kaplanması gibi şeyler ikincil ürünün (secondary yield) az miktarlarda kullanıldığında daha iyi olmasını sağlayabilir.

5. Hazırlama işlemlerinden dolayı yüzey yapının herhangi bir zarar görmesi bazı yüzeysel ayrıntılara yol açacaktır ve bunlar resimleri kaydetme aşamasındaki büyüklükte anlaşılmaya çalışılmalıdır.

6. Ortaya çıkan sonucun hazırlama işleminden dolayı olduğuna şüpheleniliyorsa kontrol numunesi kullanılmalıdır.

7. Numune stub'ı (holder) yer potansiyeli iyi bir elektrik temasında olmalıdır.

8. Numunenin yüzeyi ile numunenin stub'ı arasında iyi bir elektrik teması olmalıdır. Mesela numuneye gümüş-dag gibi iletken boyalar sürülür ve gerekirse numune yeteri kadar kaplanır.

9. Numune stub'ı mümkün olduğunca az backscattered ve secondary elektronlara yol açmalıdır. Genellikle alüminyum stub'lar kullanılır, X ışını mikroanaliz uygulamalarında karbon stub'lar kullanılabilir.

10. Küçük parçacıklar en az background sinyal vermesi için mass foil'e çok iyi monte edilir. Mesela alüminyum halkası üzerinde uzanan naylon film gibi.

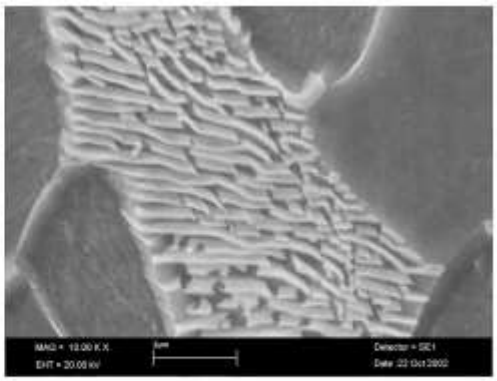
11. Numune, numune tutucusuna (stub) iliştirilmeli; böylelikle elektron ışınına maruz bırakıldığında hareket etmez.

12. Mevcut aşama hareketlerini (yan yatırmak, döndürmek, X, Y, Z) kullanılarak bütün yüzeyin çalışılabilmesi için numune, numune tutucuya (stub) iliştirilmelidir.

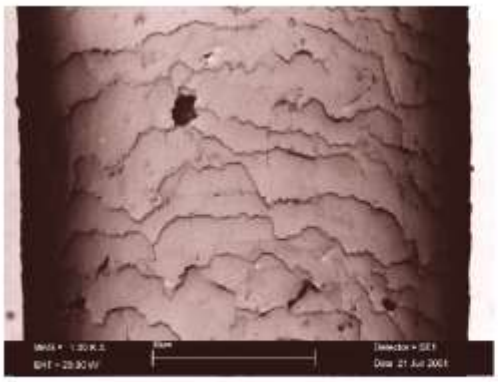
1.5. SEM'de Yapılan Uygulamalar



Demir 10.000 Büyütme



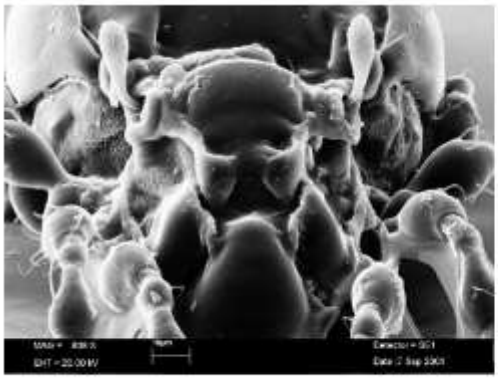
9 mm Kurşun 16 Büyütme



İnsan Saçı 450 Büyütme



İnsan Saçı 450 Büyütme



Kene 484 Büyütme



Kene 909 Büyütme

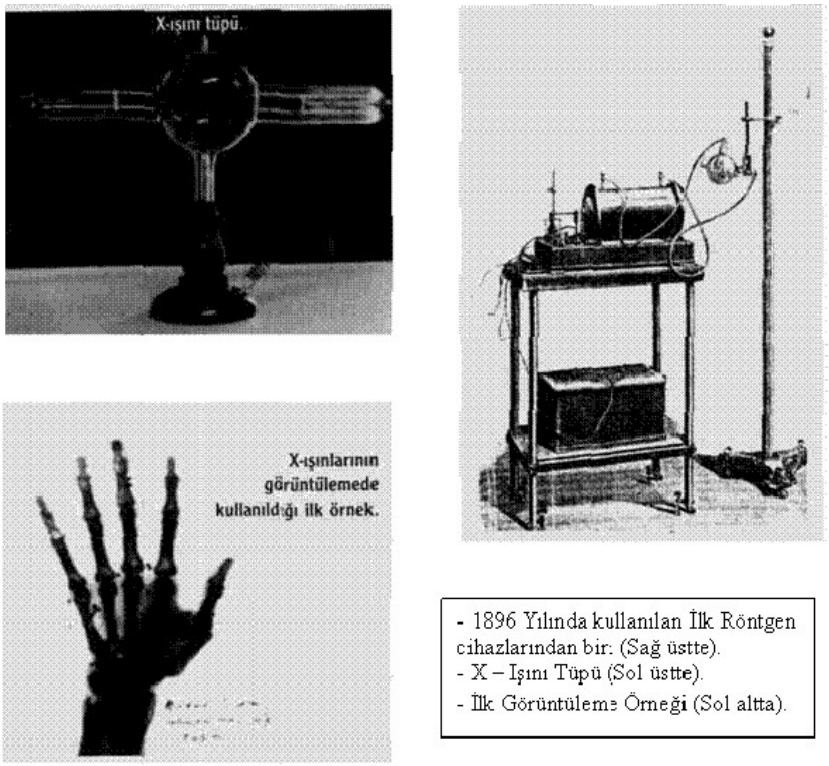
Şekil 4. SEM örnekleri

2. X-Işını Difraktometresi(XRD)

X-Işınları, Alman Fizikçi Röntgen tarafından 1895' de keşfedilmiştir.

* Bu ışının görünür bölgede olmayıp doğru boyunca yayıldığı,
* Fotoğraf filmini etkilediği,
* Normal ışıktan daha fazla difüzyon özelliğinin olduğu, (insan vücudundan ve metal gibi kalın malzemelerden daha kolay geçebildiği) görülmüş ve teknolojik anlamda kullanım alanı bulmuştur.

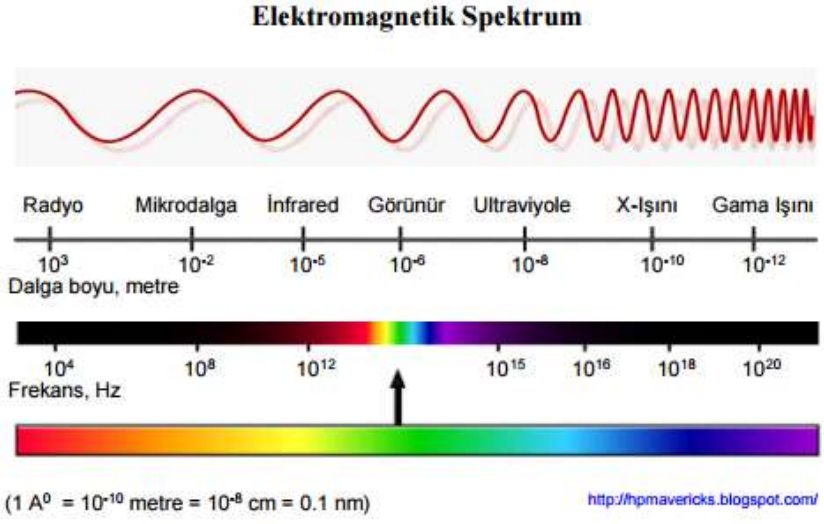
Ardından 1912' de Laue, Friedrich & Knipping bir kristali X-ışınlarına maruz bıraktılar ve X-ışınlarının çok kısa dalga boylu dalgalar olduğunu kanıtladılar. Ancak, gerçek önemi ise kristallerin düzenli yapılarını ve var olan simetriyi, kristallerin iç atomik düzenleri açığa çıkarmasıydı. W.L. Bragg, 1912 yılında kristallerden X ışınının kırınımını açıklayan meşhur bağıntısını yazdı. Böylece, X-ışınlarının "kırınımı" fiziksel bir olgu durumundan kristallerdeki atomların düzenlerini açıklayan bir araca dönüştü.



Şekil 5. X ışını keşfi

2.1. X Işınlarının Genel Özellikleri

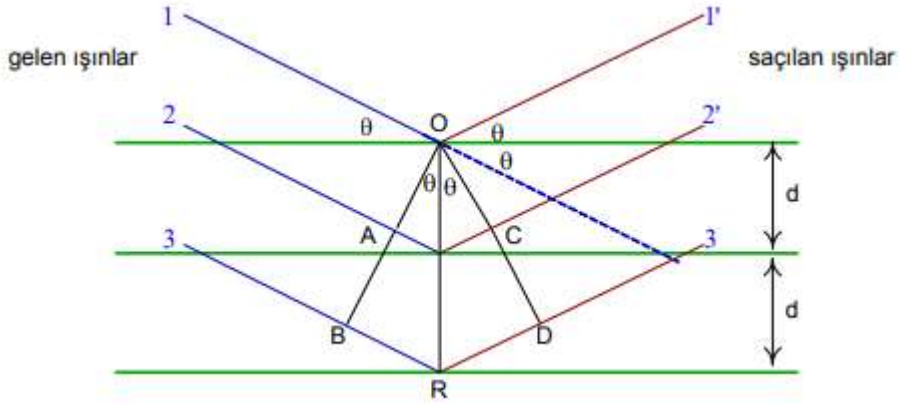
- X-ışınları yüksek enerjili elektronların yavaşlatılması veya atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri ile meydana gelen, çok kısa dalga boyuna 0.1-100 Å sahip elektromanyetik dalgalardır (Şekil 6).
- Kristalografide 0.5-2.5 Å (yumuşak), radyolojide 0.5-1 Å (sert) dalga boylarındaki X-ışınları kullanılır.
- Yüksüz oldukları için manyetik ve elektrik alandan etkilenmezler.
- Girişim, yansıma, kırılma ve kutuplanma özellikleri vardır. O halde bu ışınları belirleyen iki önemli özellik kısa dalga boyu ve yüksek enerjiye sahip olmalarıdır.



Şekil 6. Elektromanyetik Spektrum

X-Işını Kırınım yöntemi (XRD). Her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak, X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. X-Işını Kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi nitel analizlerinin yapılmasını sağlar.

Her tip elektromagnetik ışının elektrik vektörü ile içinden geçtiği maddenin elektronları arasındaki etkileşim sonunda saçılma olur. Bir kristale gönderilen X-ışınları kristalin düzenli yapısı tarafından saçılır; saçılan ışınlar birbirine şiddeti artırıcı veya azaltıcı etkiler yaparlar; nedeni saçıcı merkezler arasındaki mesafenin, ışının dalga boyu ile ayni büyüklükte olmasıdır; bu durum ışının kırılmasıyla sonuçlanır. Bragg Kanunu Bir Kristal yüzeyine θ açısı ile gelen bir X-ışını demetinin bir kısmı yüzeydeki atomlar tarafından saçılır. Demetin saçılmayan bölümü atomların ikinci tabakasına girer ve burada da bir kısmı saçılmaya uğrar. Kalan ışın üçüncü tabakaya geçer. Düzgün kristal merkezleri ışın demetinin kırılmasına neden olur. Bu durum, bir 12 yansıtıcı gratingin görünür ışını kırması olayı ile aynıdır. Kırılmanın (difraksiyonun) gerçekleşebilmesi için, (1) atom tabakaları arasındaki mesafenin, ışının dalga boyuyla aynı büyüklükte olması, (2) ışını saçan merkezlerin çok düzgün yapılı olması gerekir.



Şekil 7. X-ışınlarının bir kristal tarafından kırılması

1912'de W. L. Bragg X-ışınlarını Şekil 7'deki gibi bir kristale göndererek incelemeler yapmıştır. Burada, dar bir ışın demeti kristal yüzeyine θ açısı ile çarpmaktadır; O, P ve R konumundaki atomlarla ışının etkileşimi saçılmaya yol açar. Mesafe,

$AP + OC = n\lambda$

denklemiyle verilir, n bir tam sayıdır. Saçılan ışın OCD deki faz içinde bulunur ve kristalin X-ışınını yansıtması beklenir. Burada,

$AP = PC = d \sin\theta$

eşitliği vardır. d, kristalin düzlemler arasındaki uzaklığı gösterir. Buna göre, θ açısı ile gelen demetin yapıcı (ışın şiddetini artırıcı) etkisi olması için

$n\lambda = 2d \sin\theta$

bağıntısının bulunması gerekir. Bu eşitliğe Bragg denklemi denir. Yani, bir kristale gönderilen X-ışınları kristalden sadece, gelen ışının aşağıdaki,

$$\sin\theta = \frac{n\lambda}{2d}$$

eşitliğini sağlamasıyla yansıyabilir. Diğer tüm açılarda ışını yok edici etkiler oluşur.

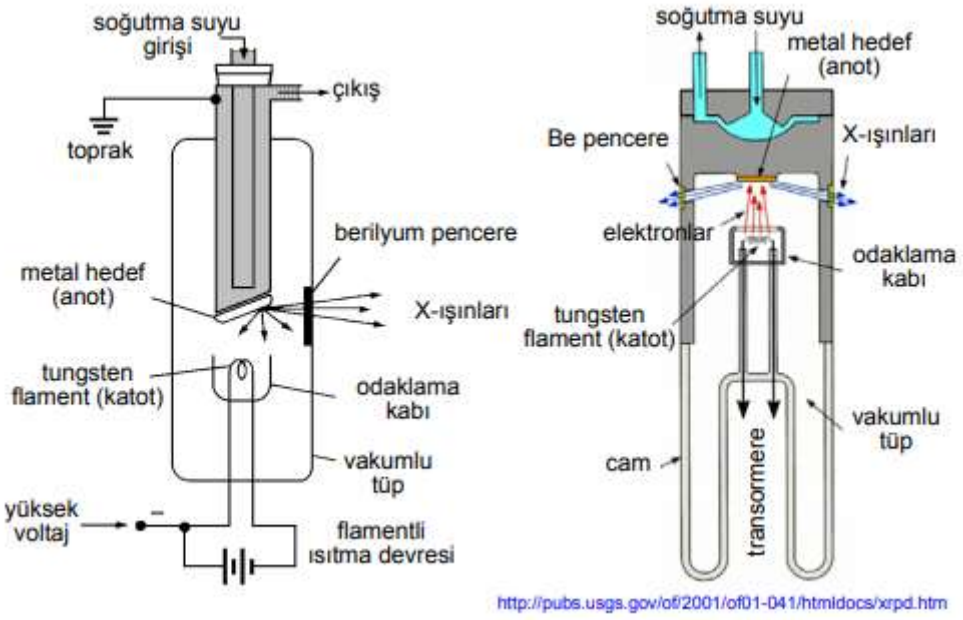
2.2. X Işını TüpüX-Işınları Kırınımı İle Kristal Yapıların Tayini

Kristallerde x-ışını kırınımı ve diğer kırınım (elektron ve nötron kırınımı) teknikleri ile sağlanan bilgiler şunlardır:

- Kristalin yapısını belirleme
- Kristalin mükemmelliği veya fazın saflığını belirleme
- Kristalin doğrultularını belirleme
- Kristalin örgü sabitlerini belirleme

2.3. X Işını Tüpü

Analitik çalışmalarda kullanılan en önemli kaynak Coolidge tüpleridir. Bunlar çeşitli şekillerde olabilirler. Bir Coolidge tüpü, temelde, havası iyice boşaltılmış bir tüptür; içinde katot olarak çalışan bir tungsten flaman ile anot görevi yapan metalden yapılmış kalın bir hedef vardır. Anot metali W, Cu, Mo, Cr, Ag, Ni, Co, Fe olabilir (Şekil 8). Flamanı ısıtmak ve elektronları hedefe doğru hızlandırmak için ayrı devreler bulunur. Isıtıcı devresi emitlenen X-ışınlarının şiddetini kontrol eder, hızlandırma potansiyeli ise onların enerji veya dalga boylarını belirler. Coolidge tüpü rektifierli (ac akımı dc akıma çevirme) olduğundan, yüksek voltajlı bir ac akım doğrudan katoda bağlanarak potansiyelin yükseltilmesi sağlanır. Elektron bombardımanı ile X-ışınları elde edilmesi verimi çok düşük bir yöntemdir. Elektrik gücünün ancak %1'den daha az bir kısmı ışın gücüne dönüşür, kalan kısım ısı enerjisi haline geçer. Bu nedenle X-ışını tüplerinin anotlarının su ile soğutulur.



Şekil 8. Coolidge tüpünün şematik diyagramı

2.4. Analiz Yöntemi

Kristal yapıdan geri yansıyan X ışınları, bu ışınların kristal yapıdan (kafes) yansıma açıları, kullanılan X ışını dalga boyu arasındaki ilişkiden malzemenin kristalografik yapısı ve buna bağlı olarak da genel yapı hakkında bilgi edinmiş oluruz. Deneysel olarak X ışınlarının kullanıldığı bazı yöntemler şunlardır:

--- Laue Fotoğraf

--- Toz Fotoğraf

--- Kırınım ve spektral ölçümlerde

Laue Fotoğraf:

---W L_1, Cu K_α, Mo K_α gibi radyasyon kaynakları kullanılır.

---Çalışılan numune tek kristaldir.

---Tek kristalden yansıyan X-ışınları, X ışını kamerası olarak tanımlanan ve içinde fotoğraf filmi bulunan bir aygıt ile tespit edilir.

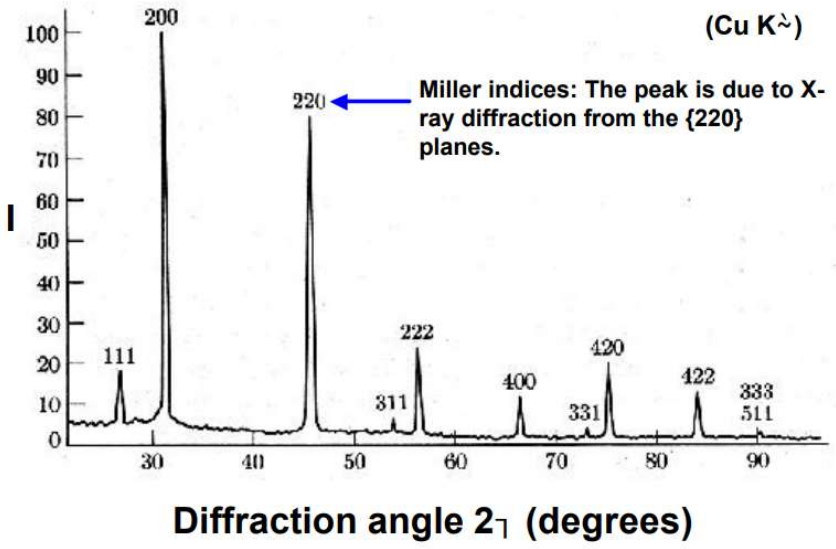
Toz Fotoğraf:

---Bu yöntem genel anlamda monokromatik X ışınlarını (filtre edilmiş X ışınlarının kuvvetlisi olan K_α dalga boyu) kullanılmaktadır.

---Toz kelimesinden maksat, numunenin belirli bir tane boyutuna kadar küçültülmüş toz hali ya da katı halde olan herhangi birçok kristalli malzemedir.

---(λ) sabit olduğundan kristal düzlemi ile uygun θ açısı denk geldiğinde maksimum yansıma meydana gelir.

---Bu yöntemde yansıyan X ışınları bir fotoğraf filmi üzerine düşürülür.



Şekil 9. NaCl tuzunun XRD grafiği

KAYNAKLAR

"Scanning and Transmission Electron Microscopy: An Introduction, "S.L. Flegler, J.W. Heckman, K.L. Klomparens, Oxford Univ. Press (1993), ISBN #0-19-510751-9. "Encyclopedia of Materials Characterization," C.R. Brundle , C.A. Evans, Jr., S. Wilson, Butterworth-Heinemann (1992), ISBN #0-7506-9168-8

http://histemb.medicine.ankara.edu.tr/sunu_ders_notlari.htm http://teknopark.erciyes.edu.tr/teknotr2.htm

http://www.istanbul.edu.tr/eng/metalurji/sem.htm http://www.jeol.com/sem_gde/tbcontd.html

http://www.unl.edu/CMRAcfem/semoptic.html

http://em-outreach.sdsc.edu/web-course/toc.html

http://www2.aku.edu.tr/~hitit/dersler/bahar/malzeme%20karakterızasyon%20teknıkleri/x-ısınlarının%20ozellıkleri%20%5b1%5d.pdf

http://slideplayer.biz.tr/slide/1983275/

http://hydrogen.physik.uni-wuppertal.de/hyperphysics/hyperphysics/hbase/quantum/xrayc.html

http://amptek.com/xrf/
http://www.academia.edu/1748058/Kristaller_ve_X-%C4%B1%C5%9F%C4%B1n%C4%B1_k%C4%B1r%C4%B1n%C4%B1m_y%C3%B6ntemi

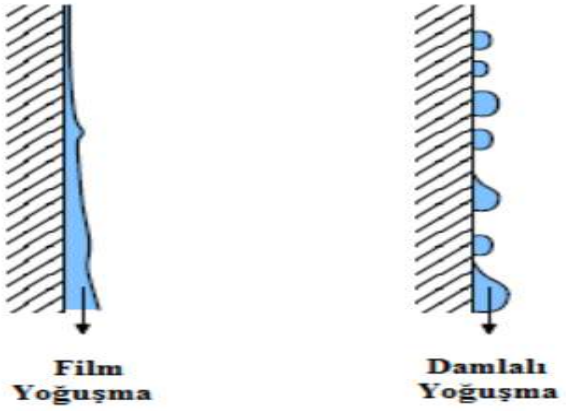
DENEY 4: YOĞUŞMA DENEYİ

PROF. DR. KADİR BİLEN **YER:** AKIŞKANLAR LABORATUVARI

DENEY SORUMLUSU: ARŞ GÖR. B. İSMET TOPRAK

1. DENEYİN AMACI

Damlalı ve film yoğuşmayı gözle gözlemlemek, su buharının sıcaklık-basınç eğrisini elde etmek ve farklı basınçlarda suyun kaynaması gözlemlemek, damlamalı ve film yoğuşmada ısı transfer katsayısını belirlemek, sıcaklığın ve basıncın yoğuşma üzerindeki etkileri belirlemek.



Şekil 1. Film ve damlalı yoğuşma

2. GENEL BİLGİLER

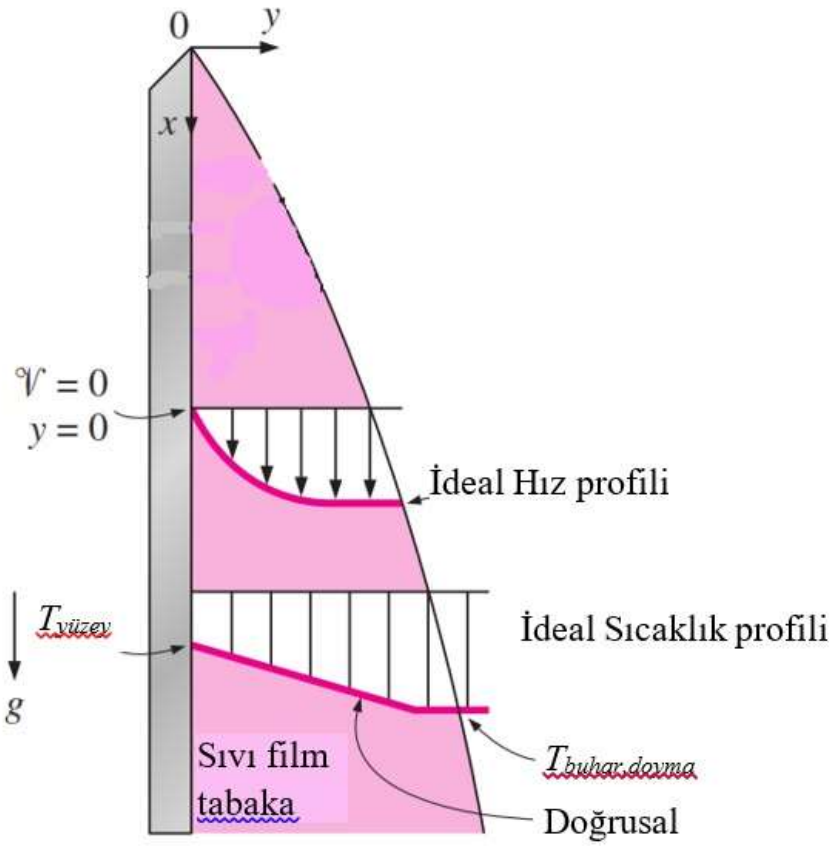
Isı taşınımı ısının hareket eden akışkan parçacıkları yardımıyla geçişidir. Genel olarak doğal ve zorlanmış taşınım olmak üzere iki tip ısı taşınımından bahsedilir. Isı taşınımının bir diğer türü ise faz değişimi ile ısı transferi olup, bu tip ısı taşınımı kaynama ve yoğuşma ile ısı taşınımı olmak üzere iki alt sınıfta incelenebilmektedir.

Buhar, buharın doyma sıcaklığından($T_{buhar,doyma}$) daha düşük sıcaklıktaki bir katı yüzeye temas ettiğinde yoğuşma meydana gelir ve sıvı olarak çökelir. Yoğuşma katı yüzeyde sürekli bir sıvı film tabaka ya da tek tek damlalar şeklinde olabilir(Şekil 1).

Film yoğuşmada yoğunlaşan buhar dikey katı yüzeyi ıslatır ve yer çekiminin etkisiyle aşağı doğru akarak sıvı film tabakası oluşturur. Yoğunlaşan buhar miktarı artıkça sıvı film tabakasının kalınlığı akış yönünde artar. Katı yüzeyde oluşan bu film tabakası ısı transferine direnç gösterir yani ısıl direnç oluşturur. Film tabakası buharın katı yüzeye ulaşmasını engeller ve bundan dolayı buharın yoğuşmasıyla ortaya çıkan buharlaşma ısısı (entalpisi, $h_{fg}=h_g-h_f$) bu ısıl direnci geçmesi gerekir.

Damlalı yoğuşma ıslak olmayan pürüzsüz katı yüzeylerde meydana gelir. Damlalı yoğuşmada katı yüzeyde sürekli bir sıvı film tabakası yerine farklı çaplarda damlacıklar oluşur. Damla belirli bir boyuta ulaştığında aşağıya doğru akar ve katı yüzeyde ısı transferine direnç gösteren film tabakası oluşmaz. Bu nedenle damlalı yoğuşmada ısı transferi daha çok olur.

Sonuç olarak damlalı yoğuşmada film yoğuşmaya göre 10 kat daha fazla ısı transferi gerçekleşebilir. Bundan dolayı yoğuşmalı ısı transferi uygulamalarında damlalı yoğuşma olması istenir. Ancak damlalı yoğuşma ıslak olmayan pürüzsüz yüzeylerde oluşabilmektedir. Yüzey kaplama yöntemleriyle ıslak olmayan pürüzsüz yüzeyler elde edilebilmesi rağmen damlacıklı yoğuşmanın bu tür yüzeylerde uzun sürmediği ve bir süre sonra film yoğuşmasına dönüştüğü görülmüştür. Yoğuşmada uzun süreli ıslak olmayan pürüzsüz katı yüzeyler elde etmek zor olduğundan mühendislik uygulamalarında genellikle film yoğuşması meydana gelir.



Şekil 2. Dikey bir plaka düzlemde veya silindirik tüpte film yoğuşma

Dikey bir plakadaki veya silindirik bir tüpteki film yoğuşmasında ısı transfer katsayısı için bağıntı ilk olarak 1916'da Nusselt tarafından aşağıdaki basitleştirici varsayımlar yapılarak geliştirilmiştir.

1.Yüzey sıcaklığı $T_{yüzey}$ ve buhar sıcaklığı T_{buhar} sabit kalmaktadır ve sıcaklık sıvı film tabakası boyunca doğrusal değişmektedir., ve sıvı film boyunca sıcaklık doğrusal olarak değişir.

2. Sıvı film tabaksı boyunca iletimle ısı transferi olur (taşınımla ısı transferi yoktur)

3. Sıvı film tabası boyunca hız çok düşüktür (hemen hemen sıfırdır).Böylece yoğuşturucu düzlem üzerinde sürüklenme görülmez.

4.Sıvı film tabakasında laminer akış meydana gelir ve sıvının özellikleri sabittir.

5.Yoğuşma tabakasının ivmesi önemsizdir.

Bu varsayımlara göre ortalama ısı transfer katsayısı(taşınım katsayısı) için

$$h_{ort} = 0.943 \cdot \sqrt[4]{\frac{g \cdot \rho_{film} \cdot (\rho_{film} - \rho_{buhar}) h^*_{fg} \cdot k_{film}}{\mu_{film} \cdot \left(T_{buhar,doyma} - T_{yüzey}\right) \cdot L}} \quad \left[\frac{W}{m^{2} \cdot^{0} K}\right], 0 < R_e < 30 \qquad (1)$$

Bağıntısı geliştirilmiştir. Burada,

g: Yer çekimi ivmesi $[m^2/s]$

ρ_{film} : Sıvı film tabakasının yoğunluğu $[kg/m^3]$

ρ_{buhar}: buharın yoğunluğu $[kg/m^3]$

μ_{film} : Sıvı film tabakasının viskozitesi $[kg/ms]$

$h^*_{fg}=h_{fg}+0.68\ c_{p,film}(T_{buhar,doyma}-T_{film})$: Değiştirilmiş gizli buharlaşma ısısı $[J/kg]$

k_{film}: Film tabakasının ısı iletim katsayısı $[W/(m\ K)]$

L: Düzlem plakanın veya silindirik tüpün uzunluğu $[m]$

$T_{buhar,doyma}$: Yoğuşan buharın doyma sıcaklığı $[K]$

$T_{yüzey}$: Düzlem plakanın veya silindirik tüpün yüzey sıcaklığı $[K]$

Bu bağıntıdaki sıvı film tabakası özellikleri için $T_{film}=(T_{buhar,doyma}+T_{yüzey})/2$ sıcaklığı kullanılır. h_{fg} ve ρ_{buhar} için $T_{buhar,doyma}$ sıcaklığı kullanılabilir.

Deneysel olarak yoğuşmada ısı transfer katsayısı (taşınım katsayısı) soğutma suyuna verilen ısı enerjisi yardımıyla da hesaplanabilir. Bir akışkanın faz değiştirdiği hal değişimleri sırasında olan ısı geçişi taşınım kapsamına girer, çünkü kaynama sırasında oluşan kabarcıkların yükselmesi veya yoğuşma sırasında oluşan sıvı damlacıklarının düşmesi de bir akışkan hareketine neden olur. Birim zamanda taşınımla ısı geçişi $\dot{Q}_{taşınım}$, Newton'un Soğutma Yasası adı verilen bağıntıyla ifade edilebilir:

$$\dot{Q}_{taşınım} = h \cdot A \cdot (T_{yüzey} - T_{akışkan}) \quad [W] \quad (2)$$

Burada,

h: taşınım katsayısı $[W/m^2K]$

A: ısı geçişinin olduğu yüzey alanı $[m^2]$

$T_{yüzey}$: Yüzey sıcaklığı $[K]$

$T_{akışkan}$: Akışkanın(buharın) yüzeyden uzaktaki sıcaklığı $[K]$

Soğutma suyuna verilen ısı, özgül ısılar ve Termodinamiğin 1. Kanunu yardımıyla hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_{su} = \dot{m}_{su} \cdot c_{su} \cdot \left(T_{su,çıkış} - T_{su,giriş}\right) \cdot 10^3 \quad [W] \quad (3)$$

Burada,

$\dot{Q}_{su}$:Suya aktıran ısı miktarı *[W]*

$\dot{m}_{su}$:Soğutma suyu kütlesel debisi [kg/s]

c_{su} :Suyun özgül ısısı *[kj/(kgK)]*

$T_{su,giriş}$:Soğutma suyu giriş sıcaklığı*[K veya ^{0}C]*

$T_{su,çıkış}$:Soğutma suyu çıkış sıcaklığı*[K veya ^{0}C]*

Termodinamiğin 1. Kanunu göre taşınımla olan transferi suya aktarılan ısı transferine eşit olmalıdır. Buna göre denklem (2) ve (3) birbirine eşitlenirse($\dot{Q}_{su} = \dot{Q}_{taşınım}$) yoğuşmada ısı transfer katsayısı (taşınım katsayısı)

$$h = \frac{\dot{m}_{su} \cdot c_{su} \cdot \left(T_{su,çıkış} - T_{su,giriş}\right) \cdot 10^3}{A \cdot \left(T_{yüzey} - T_{akışkan}\right)} \qquad (4)$$

denkleminden bulunabilir.

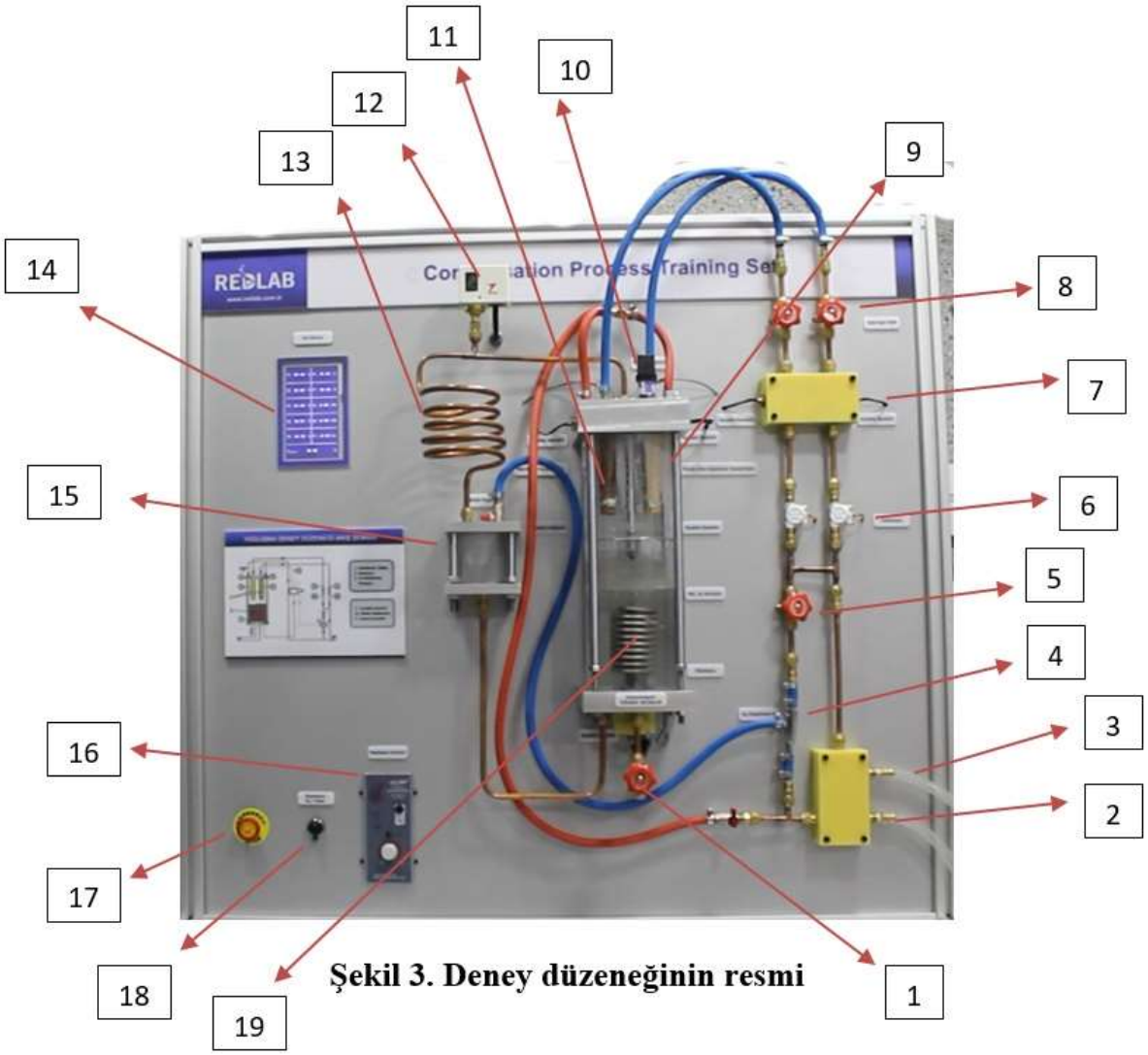
Taşınım katsayısı *h*, akışkanın bir özeliği değildir. Taşınım katsayısı deneysel olarak belirlenen bir parametredir ve değeri yüzey geometrisi, akışkanın niteliği, akışkanın özelikleri ve akış hızı gibi taşınımı etkileyen birçok değere bağlıdır. Uygulamada karşılaşılan bazı *h* değerleri aşağıda tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Uygulama karşılaşılan bazı h değerleri

Madde	**Taşınım katsayısı** ***[W/m²·K]***
Gazlarda doğal taşınım	2-25
Sıvılarda doğal taşınım	50-1000
Gazlarda zorlanmış taşınım	25-250
Sıvılarda zorlanmış taşınım	50-20000
Kaynama ve yoğuşma	2500-100000

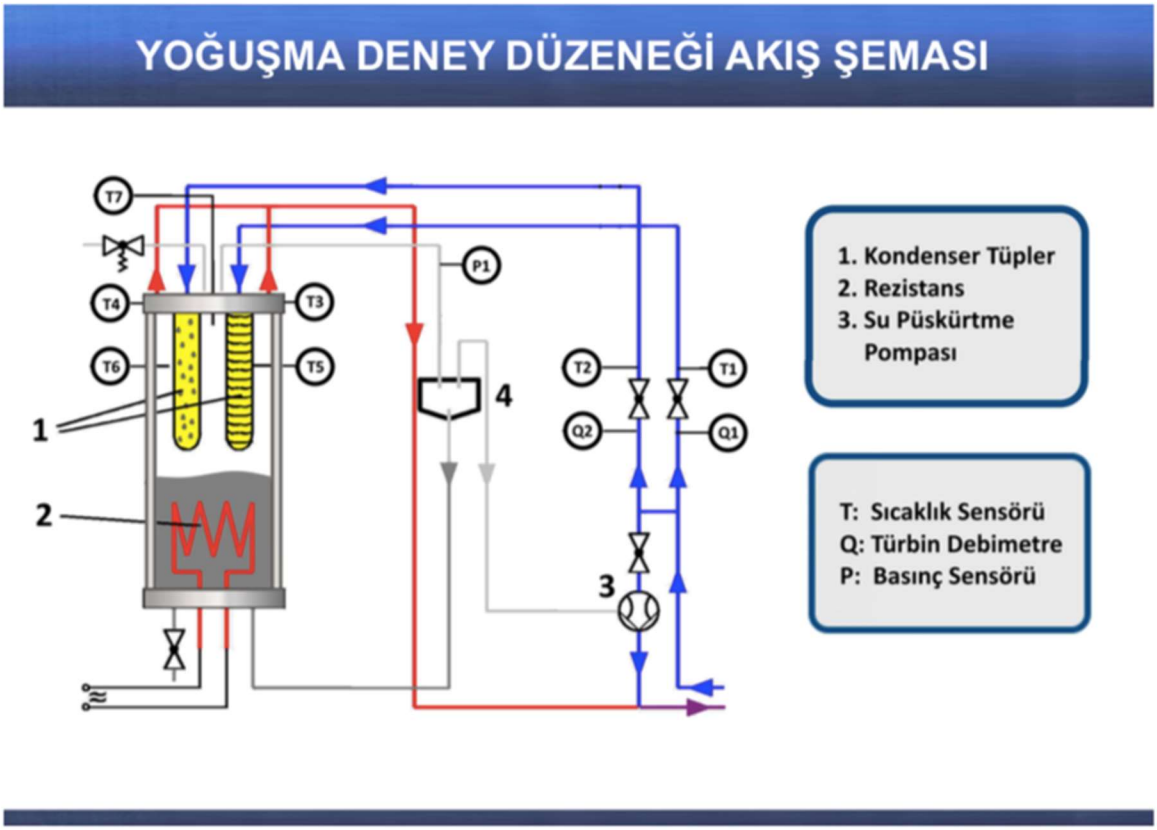
3. DENEY DÜZENEĞİ

Yoğuşmada ısı transfer katsayısını belirlemek amacıyla aşağıda şekil 3'de resimleri verilen deney düzeneği kullanılacaktır. Deney düzeneği; kontrol panosu, şeffaf yoğuşma tankı(tüpü), elektrikli ısıtıcı, yoğuşma boruları, su jeti pompası, dijital göstergeler, bağlantı boruları ve kabloları ana elemanlarından oluşmaktadır.



Şekil 3. Deney düzeneğinin resmi

1. Boşaltma vanası, 2. Su çıkışı, 3. Su girişi, 4. Su jeti pompası, 5. Su jeti pompası ayar valf, 6. Debimetreler, 7. Soğutma suyu sıcaklıkları, 8. Soğutma suyu kontrol valfleri, 9. altın kaplama yüzeyli boru, 10. Basınç sensörü, 11. Bakır kaplama yüzeyli boru, 12. Basınç şalteri, 13. Kondenser, 14. Veri ekranı, 15. Buhar kapanı, 16. Rezistans kontrol ünitesi, 17. Ana şalter, 18. Rezistans aç kapa anahtarı, 19. Rezistans



Şekil 3. Deney düzeneğinin şematik resmi

Yoğuşma tankının(tüpünü) üst kısmında iki tane yoğuşturucu borular vardır. Bu yoğuşturucu borularının içinden soğutma suyu akmaktadır. Yoğuşma tankının içindeki buhara verilen ısıyı belirlemek için yoğuşturucu borulara su giriş ve çıkış sıcaklıkları ve debileri ölçülebilmektedir. Soğutma suyunun debisi vanalar ile ayarlanabilmektedir.

Yoğuşma tankının alt kısmında ısıtıcının gücü, ısıtıcı güç anahtarı ile ayarlanabilmektedir. Yoğuşma tankı içindeki buhar sıcaklığı ve mutlak basınç p ile ölçülmektedir. Emniyet valfi, yoğuşma tankı içindeki aşırı basıncı önler. Tank içinde aşırı basınç olması durumunda basınç anahtarı ısıtıcıyı kapatır. Tank içindeki hava, su jeti pompası kullanılarak boşaltılabilir. Bunun için su jeti ayarlama vanası ile pompa ayarlanır. Su jeti pompası üzerine yerleştirilmiş çek valf suyun geri dönüşünü önler. Buharın kaçmasını ve dolayısıyla saf su kaybını önlenmek için buhar kapanı kullanılmıştır. Böylece yoğuşan saf su, yoğuşma tankına geri dönerken tankın içerisinde yoğuşamayan hava ve gazlar su jeti ile soğutma suyu çıkışına emilir.

3.1. Bakır Yoğuşma Borularının Yapısı

Yoğuşma tankının üst kapağına iki yoğuşma boruları takılıdır. Soğutma suyu bu bakır boruların içerisinde dolaşır. Boruların içerisinde, borunun ucuna kadar uzanan tüpler yerleştirilmiştir. Tüpler ile bakır boruların duvarları arasında boşluk vardır. Soğutma suyu girişinden gelen su, tüpün içinden aktıktan sonra tüp ile boru duvarları arasındaki boşluktan soğutma suyu çıkışına doğru akar. Böylece yoğuşma boruları boyunca soğutma yapılabilir. **Yüksek iletim katsayılı malzemelerde sıcaklık dağılımları daha düzgün olduğundan yoğuşma boruları ısı iletim katsayı yüksek olan bakır malzemeden yapılmıştır($k_{bakır}$ =401 [W/m·K]).**

Bakır boruların yüzey sıcaklıkları transmitterli K tipi termokupl ile ölçülmektedir. ***Yoğuşma tankının içinde sağ taraftaki bakır boru damlamalı yoğuşma için parlatılmış ve yüzeyi altın ile kaplanmıştır. Sol***

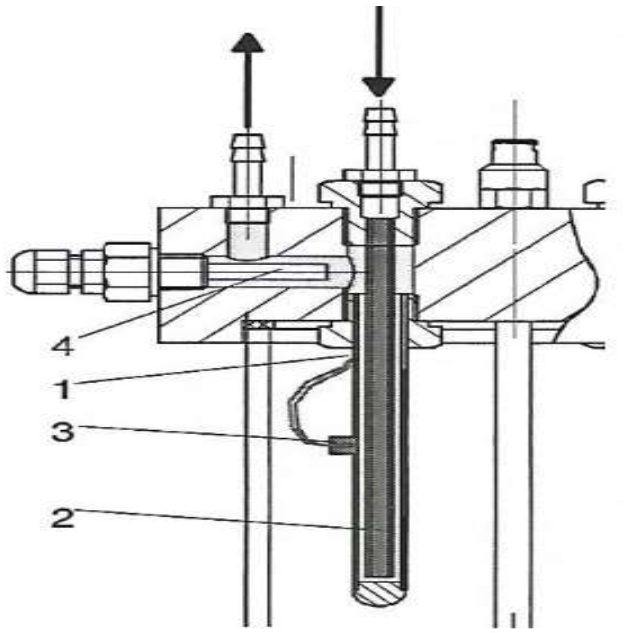
taraftaki bakır boru ise matlaştırılmış ve yüzeyi kumlanmıştır. Film yoğuşma bu boruda görülür. Bakır boru çıkışlarındaki soğutma suyu sıcaklıkları transmitterli PT100 sensörü ile ölçülür.

Yoğuşma borularının boyutları:

Dış Çapı:26 mm

Soğutulan uzunluğu:120 mm

Soğutma yüzey alanı: 98.01 cm^2



Şekil 5. Yoğuşma borusunun içyapısı

4. DENEY DÜZENEĞİNİN ÇALIŞTIRILMASI/KAPATILMASI

4.1. Çalıştırmadan Önce Yapılması Gerekenler

Deney düzeneği çalıştırılmadan önce aşağıdaki işlem adımlarını uygulayınız.

1. Soğutma için su giriş ve çıkış bağlantılarını hortum kullanarak yapınız. Su besleme hattının debisi sürekli akışta 4 L/h olmalıdır.

2. Yoğuşma tankının içindeki su seviyesi; min. su seviyesinin en az 1-2 cm üzerinde olmalıdır. Aksi durumda ısıtıcı çalışmayacaktır. ***YOĞUŞMA TANKINA YALNIZCA SAF SU KOYUNUZ.*** Yoğuşma tankına saf su doldurmak için aşağıdaki işlem adımlarını uygulayınız.

- Yoğuşma tankı boşaltma/doldurma valfine uygun bir hortum bağlayın.
- Hortumun diğer ucuna bir huni bağlayıp, bu ucu yoğuşma tankından daha yüksek bir seviyede tutun.
- Hortumun tamamen saf su ile dolmasını sağlayın.
- Yoğuşma tankı boşaltma/doldurma valfini açın.
- Yoğuşma tankı içindeki saf su seviyesi, min. Su seviyesini ***en az 1-2 cm*** geçecek kadar saf su ilavesi yapınız.
- Yoğuşma tankı boşaltma/doldurma valfini(V4) kapatınız.

4.2. Düzeneğin Çalıştırılması

Aşağıdaki işlem adımlarını uygulayarak deney düzeneğini çalıştırınız.

1. Deney düzeneğinin fişini mutlaka 220 V gerilimli topraklı bir prize takınız.

2. Su besleme hattının vanasını açınız. Su borularında ve bağlantı noktalarında su kaçağı olup olmadığını kontrol ediniz. Eğer varsa su kaçaklarını gidermeden deney düzeneğini çalıştırmayınız.

3. Kontrol panosundaki ana şalteri açınız.

4. Aşağıdaki işlem adımlarını uygulayarak yoğuşma tankının içindeki havayı alınız.

- Kontrol panosundaki basınç göstergesini takip ederek soğuk olan yoğuşma tank basıncı 0.3 bar olana kadar su jeti ayar vanası yavaş bir şekilde kademeli olarak açınız.
- Isıtıcı aç/kapa butonuna basarak ısıtıcıyı açınız. Isıtıcı güç ayar anahtarını yarım güçte(%50) çalışacak kadar çeviriniz ve yoğuşma tankı sıcaklık göstergesi 80^0 C'ye ulaşana kadar bekleyiniz.
- Su jeti ayar vanası tekrar yavaş bir şekilde kademeli olarak açınız. Basınç düştüğünde su şiddetle kaynamaya başlayacaktır.
- Su aşırı derecede fazla kaynamayacak ve su jeti pompası susuz kalmayacak şekilde su jeti ayar vanasını ayarlayınız. Soğutma suyu çıkışı boruları ve suyun sıcak olması buharın yoğuşma tankından dışarı verildiğini gösterir.
- Yaklaşık 3 dakika içinde yoğuşma tankının içindeki hava alınmış olur.

4.3. Çalışmanın Durdurulması

Aşağıdaki işlem adımlarını uygulayarak deney düzeneğini durdurunuz.

1. Isıtıcı güç ayar anahtarını çevirerek kapatınız("0" konumuna getiriniz).

2. Su jeti ayar vanası kapatınız

3. Kontrol panosundaki ana şalteri kapatınız

4. Su besleme hattının vanasını kapatınız.

5. Deney düzeneğinin fişini çıkarınız.

6.***Eğer deney düzeneği uzun süre kullanılmayacaksa yoğuşma tankı içindeki saf suyu yoğuşma tankı boşaltma/doldurma valfine uygun bir hortum bağlayarak boşaltınız.***

5. DENEYİN YAPILIŞI ve ÖLÇÜMLER

Deney No 1: Damlamalı ve film yoğuşmada ısı transfer katsayısının belirlenmesi deneyi

Aşağıdaki işlem adımlarını uygulayarak deneyi yapınız.

1.Dördüncü bölümde anlatılan işlem adımlarını uygulayarak deney düzeneğini çalıştırınız.

2. Yoğuşma tankının sıcaklığı (90÷100) ^{0}C olana kadar (yoğuşma tankı sıcaklığını takip ediniz) ısıtıcı güç ayar anahtarını çevirerek ısıtıcı gücünü artırın. Yoğuşma tankının sıcaklığı (90÷100) ^{0}C arasında en iyi sonuçlar elde edilir.

3.Buhar ile yüzey sıcaklıkları arasında istenilen farkı elde edebilmek için yoğuşturma borularının içinden geçen suyun debisini, soğutma suyu kontrol vanaları V1 ve V2'yi çevirerek ayarlayınız. Yoğuşma boruları içerisinden geçen soğutma suyunun debileri kontrol panosundaki *F1* ve *F2* göstergelerinden takip edilir.

4. Buhar sıcaklığını sabit kalıncaya kadar ısıtıcının gücünü ayarlayınız.

5.Gerekirse sıcaklık farklarını sabit tutmak için soğutma suyu kontrol vanaları V1 ve V2'yi çevirerek soğutma suyu debisini yeniden ayarlayınız.

6.Yoğuşma borularında yoğuşma işlemi açık bir şekilde görülür.

7. Kontrol panosu üzerindeki göstergelerden yoğuşma tankı basıncını*(P1)*, tüm sıcaklıkları ve debileri okuyunuz ve tablo 2'yi doldurunuz.

Tablo 2. Deney No 1 için ölçüm değerleri

MATLAŞTIRILMIŞ VE YÜZEYİ KUMLANMIŞ BAKIR BORUDA		***PARLATILMIŞ VE YÜZEYİ ALTIN KAPLANMIŞ BAKIR BORUDA***	
T_2 [^{0}C] Soğutma suyu giriş sıcaklığı		***T_1 [^{0}C] Soğutma suyu giriş sıcaklığı***	
T_4 [^{0}C] Soğutma suyu çıkış sıcaklığı		***T_3 [^{0}C] Soğutma suyu çıkış sıcaklığı***	
T_6 [^{0}C] Yüzey sıcaklığı		***T_5 [^{0}C] Yüzey sıcaklığı***	
T_7 [^{0}C] Yoğuşma tankı sıcaklığı		***T_7 [^{0}C] Yoğuşma tankı sıcaklığı***	
$F_1=\dot{V}_1$[L/h] ***Soğutma suyu hacimsel debisi***		$F_2=\dot{V}_2$[L/h] ***Soğutma suyu hacimsel debisi***	
P_1 [bar] Yoğuşma tankı basıncı		***P_1 [bar] Yoğuşma tankı basıncı***	
T_0 ***[^{0}C] Ortam Sıcaklığı***		*T_0* ***[^{0}C] Ortam Sıcaklığı***	
*P_0[*mmHg*]* ***Ortam basıncı***		*P_0[*mmHg*]* ***Ortam basıncı***	

Deney No 2: Damlamalı ve film yoğuşmada yoğuşmayan gazların ısı transfer katsayısına etkisinin belirlenmesi deneyi

Aşağıdaki işlem adımlarını uygulayarak deneyi yapınız.

1.Dördüncü bölümde anlatılan işlem adımlarını uygulayarak deney düzeneğini çalıştırınız. Ancak kontrol panosundaki basınç göstergesini(P1) takip ederek soğuk olan ***yoğuşma tank basıncı 0.3 bar yerine 0.5 bar olana kadar*** su jeti ayar vanası yavaş bir şekilde kademeli olarak açınız.

2.Yoğuşma tankı boşaltma/doldurma valfine uygun bir hortum bağlayın. Hortumun diğer ucunu yoğuşma tankından daha yüksek bir seviyede tutun. Yoğuşma tankı boşaltma/doldurma valfini açın tank basıncı 0.9 bar olan kadar yoğuşma tankının içine hava girişine müsaade edin.

3.Yoğuşma tankının sıcaklığı (90-100) ^{0}C olana kadar (yoğuşma tankı sıcaklığını T7'den takip ediniz) ısıtıcı güç ayar anahtarını çevirerek ısıtıcı gücünü artırın.

3.Buhar ile yüzey sıcaklıkları arasında istenilen farkı elde edebilmek için yoğuşturma borularının içinden geçen suyun debisini, soğutma suyu kontrol vanaları V1 ve V2'yi çevirerek ayarlayınız. Yoğuşma boruları içerisinden geçen soğutma suyunun debileri kontrol panosundaki *F1* ve *F2* göstergelerinden takip edilir.

4. Buhar sıcaklığını sabit kalıncaya kadar ısıtıcının gücünü ayarlayınız.

5.Gerekirse sıcaklık farklarını sabit tutmak için soğutma suyu kontrol vanaları V1 ve V2'yi çevirerek soğutma suyu debisini yeniden ayarlayınız.

6.Yoğuşma borularında yoğuşma işlemi açık bir şekilde görülür.

7.Kontrol panosu üzerindeki göstergelerden yoğuşma tankı basıncını*(P1)*, tüm sıcaklıkları ve debileri *(F_1 ve F_2)* okuyunuz ve tablo 3'ü doldurunuz.

Tablo 3. Deney No 2 için ölçüm değerleri

MATLAŞTIRILMIŞ VE YÜZEYİ KUMLANMIŞ BAKIR BORUDA		*PARLATILMIŞ VE YÜZEYİ ALTIN KAPLANMIŞ BAKIR BORUDA*	
T_2 [^{0}C] ***Soğutma suyu giriş sıcaklığı***		***T_1 [^{0}C]*** ***Soğutma suyu giriş sıcaklığı***	
T_4 [^{0}C] ***Soğutma suyu çıkış sıcaklığı***		***T_3 [^{0}C]*** ***Soğutma suyu çıkış sıcaklığı***	
T_6 [^{0}C] ***Yüzey sıcaklığı***		***T_5 [^{0}C]*** ***Yüzey sıcaklığı***	
T_7 [^{0}C] ***Yoğuşma tankı sıcaklığı***		***T_7 [^{0}C]*** ***Yoğuşma tankı sıcaklığı***	
$F_1=\dot{V}_1$[L/h] ***Soğutma suyu hacimsel debisi***		$F_2=\dot{V}_2$[L/h] ***Soğutma suyu hacimsel debisi***	
P_1 [bar] ***Yoğuşma tankı basıncı***		***P_1 [bar]*** ***Yoğuşma tankı basıncı***	
T_0 [^{0}C] ***Ortam Sıcaklığı***		***T_0 [^{0}C]*** ***Ortam Sıcaklığı***	
P_0[mmHg] ***Ortam basıncı***		P_0[mmHg] ***Ortam basıncı***	

6. HESAPLAMALAR

6.1. Soğutma Suyuna Olan Isı Transferi

Soğutma suyuna verilen ısı, özgül ısılar ve Termodinamiğin 1. Kanunu yardımıyla hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_{su} = \dot{m}_{su} \cdot c_{su} \cdot \left(T_{su,çıkış} - T_{su,giriş}\right) \quad [kW] \qquad (5)$$

Burada,

$\dot{Q}_{su}$:Suya aktıran ısı miktarı *[kW]*

$\dot{m}_{su}$:Soğutma suyu kütlesel debisi [kg/s]

c_{su} :Suyun özgül ısısı *[kj/(kgK)]*

$T_{su,giriş}$*(T_1* veya *T_4)* :Soğutma suyu giriş sıcaklığı*[K veya ^{0}C]*

$T_{su,çıkış}$ *(T_2* veya *T_5)*:Soğutma suyu çıkış sıcaklığı*[K veya ^{0}C]*

Deneyde soğutma suyunun debisi hacimsel olarak ölçülmektedir. Hacimsel debi $\dot{V}_{su}$ ile kütlesel debi $\dot{m}_{su}$ arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır.

$\dot{m}_{su}=\rho_{su} \cdot \dot{V}_{su}$ *[kg/s]* *(6)*

burada ρ_{su} *suyun yoğunluğu [kg/m^3] ve* $\dot{V}_{su}$ *[m^3/s] hacimsel debidir*. Suyun c_{su} ve ρ_{su} değerleri için soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalaması alınarak

$$T_{su,ort} = (T_{su,giriş} + T_{su,çıkış})/2 \qquad (7)$$

termodinamik tablolardan bulunabilir.

6.2. Taşınım Katsayısı

Birim zamanda taşınımla ısı geçişi $\dot{Q}_{taşınım}$, Newton'un Soğutma Yasası adı verilen bağıntıyla ifade edilebilir:

$$\dot{Q}_{taşınım} = h \cdot A \cdot (T_{yüzey} - T_{buhar}) \quad [kW] \quad (8)$$

Burada,
h: taşınım katsayısı *[kW/m^2 ^{0}C]*
A: Yoğuşma borusunun yüzey alanı=0.003618 *[m^2]*
$T_{yüzey}$ *(T_3* veya *T_6)*: Yoğuşma borusunun yüzey sıcaklığı *[^{0}C]*
T_{buhar}*(T_7)*: Yoğuşma tankının sıcaklığı *[^{0}C]*

Termodinamiğin 1. Kanunu göre taşınımla olan transferi suya aktarılan ısı transferine eşit olmalıdır. Buna göre denklem (5) ve (8) birbirine eşitlenirse($\dot{Q}_{su} = \dot{Q}_{taşınım}$) yoğuşmada ısı transfer katsayısı (taşınım katsayısı)

$$h = \frac{\dot{Q}_{su}}{A \cdot (T_{yüzey} - T_{buhar})} \qquad (9)$$

denkleminden bulunabilir.

Deney no:1 için hesaplanan değerler tablo 4'deki gibi verilecektir.

Tablo 4. Deney No 1 için ölçüm değerleri

MATLAŞTIRILMIŞ VE YÜZEYİ KUMLANMIŞ BAKIR BORUDA		***PARLATILMIŞ VE YÜZEYİ ALTIN KAPLANMIŞ BAKIR BORUDA***	
$\dot{Q}_{su}$		$\dot{Q}_{su}$	
h*[kW/m^2 ^{0}C]*		***h****[kW/m^2 ^{0}C]*	
T_7 [^{0}C] ***Yoğuşma tankı sıcaklığı***		***T_7 [^{0}C]*** ***Yoğuşma tankı sıcaklığı***	
P_1 [bar] ***Yoğuşma tankı basıncı***		***P_1 [bar]*** ***Yoğuşma tankı basıncı***	

Deney no:2 için hesaplanan değerler tablo 5'deki gibi verilecektir.

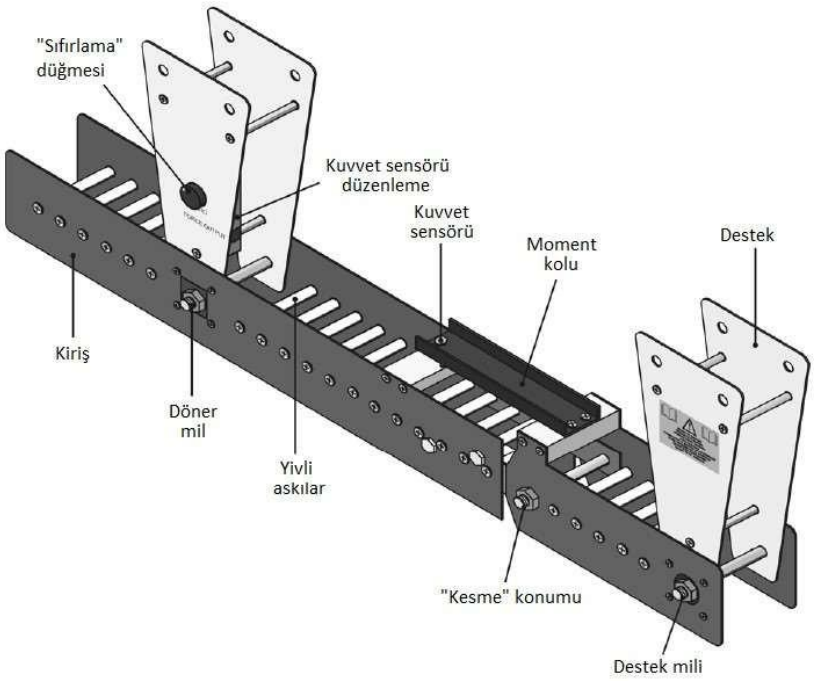
Tablo 5. Deney No 1 için ölçüm değerleri

MATLAŞTIRILMIŞ VE YÜZEYİ KUMLANMIŞ BAKIR BORUDA		***PARLATILMIŞ VE YÜZEYİ ALTIN KAPLANMIŞ BAKIR BORUDA***	
$\dot{Q}_{su}$		$\dot{Q}_{su}$	
h*[kW/m^2 ^{0}C]*		***h****[kW/m^2 ^{0}C]*	
T_7 [^{0}C] ***Yoğuşma tankı sıcaklığı***		***T_7 [^{0}C]*** ***Yoğuşma tankı sıcaklığı***	
P_1 [bar] ***Yoğuşma tankı basıncı***		***P_1 [bar]*** ***Yoğuşma tankı basıncı***	

DENEY 5: KİRİŞTE EĞİLME MOMENTİ DENEYİ

PROF. DR. HAMİT AKBULUT YER: MEKANİK LABORATUVAR
DENEY SORUMLUSU: ARŞ GÖR. MERVE YAZICI

BÖLÜM 1: Giriş ve Açıklama



Şekil 1 Bir kiriş aparatında eğilme momenti deneyi

Giriş

Bu kılavuzda bir Kirişte Eğilme Momenti deneylerinin nasıl kurulacağı ve yapılacağı anlatılmaktadır.

Açıklama

Şekil 1'de bir Kirişte Eğilme Momenti deneyi gösterilmektedir. Bir mil tarafında "kesilen" bir kirişten oluşur. Kirişin çökmesini önlemek için bir moment kolu kesme ile bir yük hücresi arasında bir köprü oluşturur ve böylece eğilme momenti kuvvetine tepki gösterir (ve ölçer). Kirişin sol taraftaki desteği üzerindeki diyagram kiriş geometrisini ve askı pozisyonlarını gösterir. Askı destekleri arasında 20 mm mesafe vardır ve askıları konumlarını belirleyen bir merkez yuva içerirler. Moment kolu 125 mm uzunluğundadır.

Cihaz Nasıl Kurulur

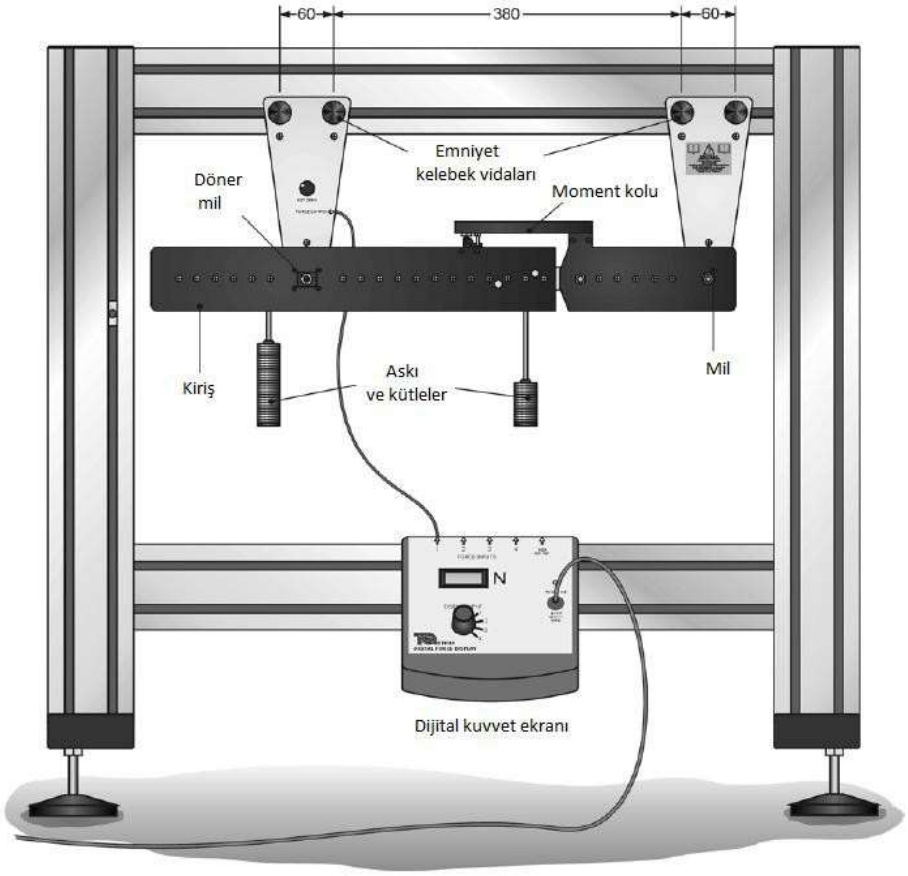
Bir Kirişte Eğilme Momenti Deneyi, Test Çerçevesi üzerine takılır. Şekil 2'te Yapı Testi Çerçevesinde kurulu olan bir Kirişin Eğilme Momenti deneyi gösterilir.

Cihazı kurmadan ve kullanmadan önce şunları yapın:

- Hasar veya aşınma olup olmadığını görmek için tüm parçaları gözle inceleyin (elektrik kabloları dahil). Gerektiğinde değiştirin.
- Elektrik bağlantılarının doğru ve güvenli olduğunu kontrol edin. Elektrik bakımı sadece yetkin bir kişi tarafından yapılmalıdır.

✓ Test Çerçevesini güvenli bir şekilde konumlandırın. Katı, düzgün bir yüzeyde monte edilmesini ve kolayca erişilebilir olmasını sağlayın.

Cihazın hiçbir parçasına aşırı yük yüklemeyin.



Şekil 2 Yapı çerçevesinde bir kirişin eğilme momenti deneyi

Aşağıdaki talimatlardaki 1-4 adımları sizin için yapılmış durumda olabilir.

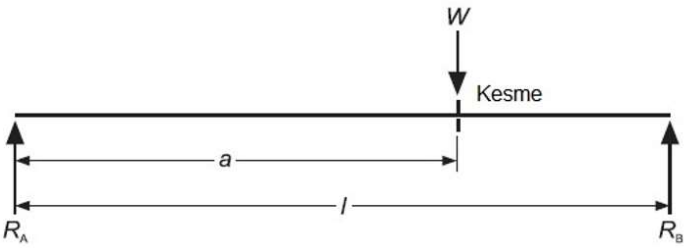
1. Bir tezgâh üzerine kurulu Test Çerçevesini yerleştirin (gerekirse Test Çerçevesi ile birlikte gelen ayrı talimatlara bakın). Test Çerçevesinin "penceresinin" kolayca erişilebilir olmasını sağlayın.
2. Çerçevenin üst üyesinde dört bağlantı somunu vardır. Bunları yaklaşık olarak Şekil 3'te gösterilen konumlara kaydırın.
3. Deneyin sol tarafı Test Çerçevesinin alt üyesi üzerinde duracak şekilde, sol el desteğini çerçevenin üst üyesine tutturun. Dahili çubukların çerçeve üzerinde sağlam bir şekilde oturmasını sağlamak için desteği çerçeveye itin.
4. Sağ taraftaki desteği konumuna gelecek şekilde kaldırın ve kalan iki kelebek vidayı bağlantı somunlarının içine koyun. İç çubukların çerçeve üzerinde sağlam bir şekilde oturmasını sağlamak için desteği çerçeveye itin. Döner pivotun gidiş yolunun yarısında olmasını sağlayacak şekilde desteği yatay olarak konumlandırın.
5. Dijital Kuvvet Ekranının "açık" durumda olmasını sağlayın. Dijital Kuvvet Ekranı üzerindeki "Force Input 1"den gelen mini DIN kablosunu deneyin sol taraftaki desteği üzerindeki "Force Output" işaretli olan sokete bağlayın. Kablonun kirişe temas etmemesini sağlayın.
6. Deneyin sol taraftaki kirişi üzerindeki kadranı kullanarak kuvvet sayacını dikkatli bir şekilde sıfırlayın. Bir parmakla kirişin ortasına küçük bir yük uygulayın ve bırakın. Gerekirse sayacı tekrar sıfırlayın. Sayacın sıfıra dönmesini sağlamak için tekrar edin.

Not: Eğer sadece ± 0.1N ise, çerçeveye hafifçe vurun (az bir aşınma olabilir, vurarak düzelecektir).

BÖLÜM 2 DENEYLER

Deney 1: Yükleme Noktasına Eğilme Momentindeki Değişme

Bu deney eğilme momentinin yükleme noktasında nasıl değiştiğini inceler. Şekil 3'te kiriş için kuvvet diyagramı gösterilir.



Şekil 3 Kuvvet Diyagramı

Bu deneyde kullanacağımız denklem aşağıdadır.

$$\mathrm{BM\,(at\ cut)} = Wa\frac{(l-a)}{l}$$

Deneylerde kullanılan kütleleri yüklere dönüştürmede aşağıdaki tablo faydalı olacaktır.

Kütle (gram)	Yük (Newton)
100	0,98
200	1,96
300	2,94
400	3,92
500	4,90

Tablo 1 Gram-Newton dönüştürme tablosu

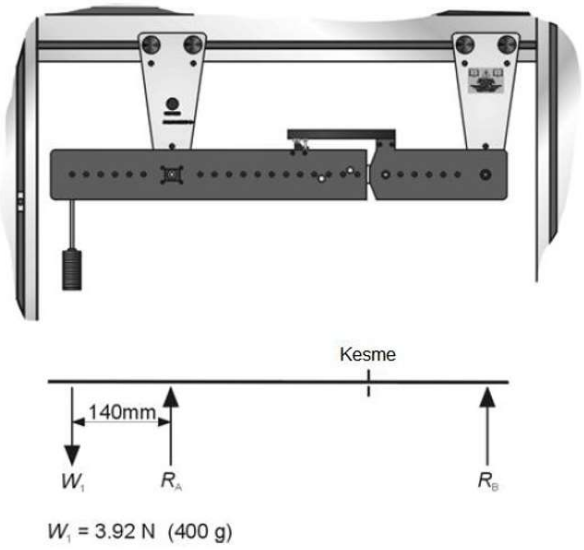
- Dijital Kuvvet Göstergesi sayacında yük yokken sıfır yazdığını kontrol edin.
- "Kesme"ye 100 g kütleli bir askı yerleştirin. Dijital Kuvvet Ekranı okumasını Tablo 1'de olduğu gibi bir tabloya kaydedin.
- Kütleyi yüke (N olarak) dönüştürün, kuvvet okumasını ise bir eğilme momentine (Nm) dönüştürün.
- Şuna dikkat edin:
  - ✓ Kesmedeki eğilme momenti (Nm olarak)= görüntülenen kuvvet x 0.125
  - ✓ Kesmedeki teorik eğilme momentini hesaplayın ve Tablo 2'yi doldurun aşağıdadır:
    -
    - Tablo 2 Deney 1 Sonuçları
    -

Kütle (g)	Yük (N)	Kuvvet (N)	Deneysel Eğilme Momenti (Nm)	Teorik Eğilme Momenti (Nm)
0				
100				
200				
300				
400				
500				

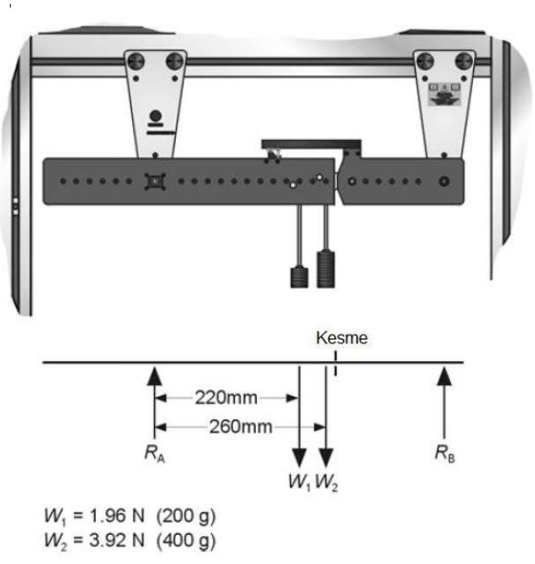
Sizin deneyinizin sonuçlarını teoriyi kullanarak hesapladığınız deneysel sonuçlarla karşılaştıran bir grafik çizin. Grafiğin şeklini yorumlayın. Grafik yükleme noktasında eğilme momentinin gösterdiği değişiklikler hakkında ne anlatıyor? Kullandığımız denklem kirişin davranışını doğru şekilde kestiriyor mu?

Deney 2: Yükleme Noktası Uzağında Eğilme Momentindeki Değişme

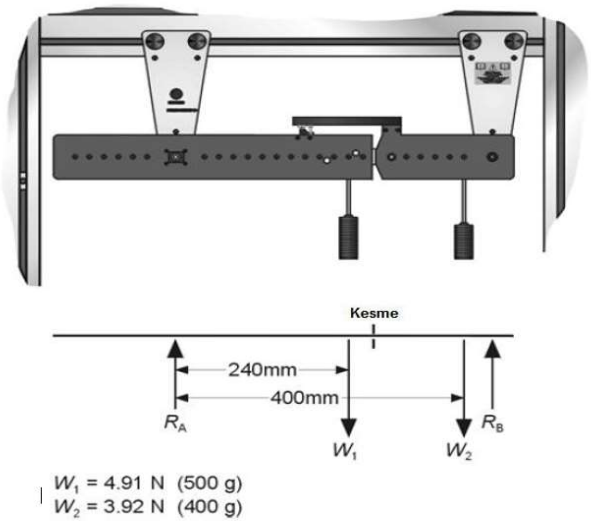
Bu deneyde eğilme momentinin farklı yükleme koşulları için kirişin kesme konumunda nasıl farklılık gösterdiği incelenir. Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 kuvvet diyagramlarını gösterir.



Şekil-4 Kuvvet diyagramı



Şekil-5 Kuvvet diyagramı



Şekil-6 Kuvvet diyagramı

- ✓ Şu ifadeyi kullanacağız: **"Kesmedeki Eğilme Momenti kesmenin solunda veya sağında etkili kuvvetlerin neden olduğu momentlerin cebirsel toplamına eşittir".**
- ✓ Dijital Kuvvet Göstergesi sayacında yük yokken sıfır yazdığını kontrol edin.
- ✓ Askılar Şekil 4'te gösterilen konumlarda olacak şekilde kirişi dikkatli bir şekilde kullanın ve Tablo 3'te gösterilen yükleri kullanın. Dijital Kuvvet Ekranı okumasını Tablo 2'de olduğu gibi bir tabloya kaydedin.
- ✓ Kütleyi yüke (N olarak) dönüştürün, kuvvet okumasını ise bir eğilme momentine (Nm) dönüştürün. Şuna dikkat edin:
- ✓ Kesmedeki eğilme momenti (Nm olarak)= görüntülenen kuvvet x 0.125
- ✓ Destek reaksiyonlarını (R_A ve R_B) hesaplayın ve kesmedeki teorik eğilme momentini hesaplayın.
- ✓ Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterildiği gibi kiriş yüklü olarak prosedürü tekrar edin.
- ✓ Deneyin sonuçları ile teoriyi kullanarak hesaplanan sonuçların benzer olup olmadığını yorumlayın.

Tablo 3 Deney 2 Sonuçları

Şekil	W_1 (N)	W_2 (N)	Kuvvet (N)	Deneysel eğilme momenti (Nm)	R_A (N)	R_B (N)	Teorik eğilme momenti (Nm)
4	3,92						

Kaynakça;

1. TecQuipment Bir Kirişteki Eğilme Momenti Öğretmen Kılavuzu
2. TecQuipment Bir Kirişteki Eğilme Momenti: Öğrenci Kılavuzu

DENEY 6: SERİ / PARALEL SANTRİFÜJ POMPA DENEYİ

PROF. DR. KENAN YAKUT **YER:** ENERJİ LABORATUVARI

DENEY SORUMLUSU: ARŞ GÖR. ERCAN DOĞAN

Teorik Bilgi

Pompa, sıvıları taşımak için kullanılan mekanik bir aygıttır. Diğer bir deyişle, pompalar sıvıların enerjisini veya basıncını artıran makinelerdir. Pompalar sıvıyı düşük basınçtan veya enerjiden yüksek basınca-enerjiye hareket ettirirler ve bundan dolayı sıvı basıncında-enerjisinde bir fark oluştururlar. Bu bakımdan bir sıvının alçak seviyeden yüksek seviyeye veya düşük basınçtan yüksek basınca gönderilebilmesi için pompalar kullanılır. Diğer taraftan pompalar bir boru içinde akan sıvının akış hızını ve dolayısıyla debisini artırmak için de kullanılır.

Özetle pompalar;

- Sıvıları alçak seviyeden yüksek seviyeye pompalamak (enerji seviyesini artırmak), - Düşük basınçlı bir tanktan daha yüksek basınçlı bir tanka basmak (basıncını artırmak), - Akış miktarını artırmak (debiyi artırmak) için kullanılırlar. Pompaların büyüklükleri bazı karakteristikleri ile tanımlanır. Pompa karakteristikleri; **kapasite(debi), emme basıncı ve basma basıncıdır**.

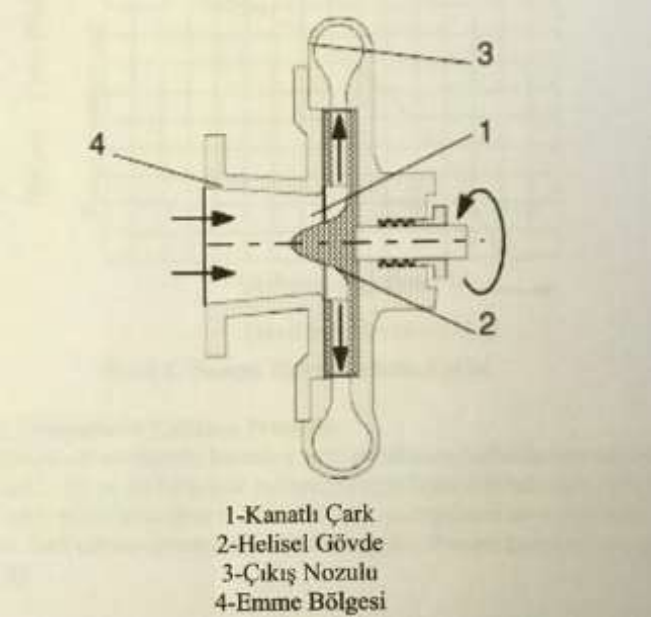
Pompaları genel olarak iki grupta toplamak mümkündür.

Pozitif yer değiştirmeli (Hacimsel) Pompalar: Hacimsel pompalarda sıvıya enerji aktarılmasında ana prensip, kapalı bir hacim içerisindeki sıvının, hacmin daraltılması yoluyla statik basıncının arttırılmasıyla gerçekleşir.

Pozitif olmayan yer değiştirmeli (Rotodinamik) Pompalar: Rotodinamik pompalar, basitçe, akışkana, hızlı hareket eden kanatlar ya da özel tasarlanmış belirli düzenekler aracılığı ile momentum kazandırırlar. Kapalı bir hacim yoktur. Akışkanın momentumu açık kanallardan geçerken artar ve daha sonra yayıcı bölümüne girerek, mevcut olan akışkanın yüksek hızını basınç artışına dönüştürür. Rotodinamik pompalar; merkezkaç (santrifüj) ya da radyal akışlı, tam eksenel ve yarı eksenel olarak sınıflandırılırlar.

Santrifüj Pompalar: Bilindiği gibi pompa, sıvıya enerji veren veya enerjisini artıran bir makinedir. Pompalardaki santrifüj kuvvet merkezkaç kuvvetidir. Bir cisim kendi ekseni etrafında döndürülürse dönme eksenine dik yönde bir merkezkaç kuvvet oluşur. Bir sıvının enerjisini artırmanın yollarından biri sıvıya dairesel bir hareket vermektir. Dairesel olarak hareket eden sıvı merkezden dışarı doğru bir kuvvetle itilir. Bu kuvvet merkezkaç veya santrifüj kuvvettir. Santrifüj pompaların çalışması bu prensibe dayanır.

Şekil 1. Santrifüj pompanın kısımları.

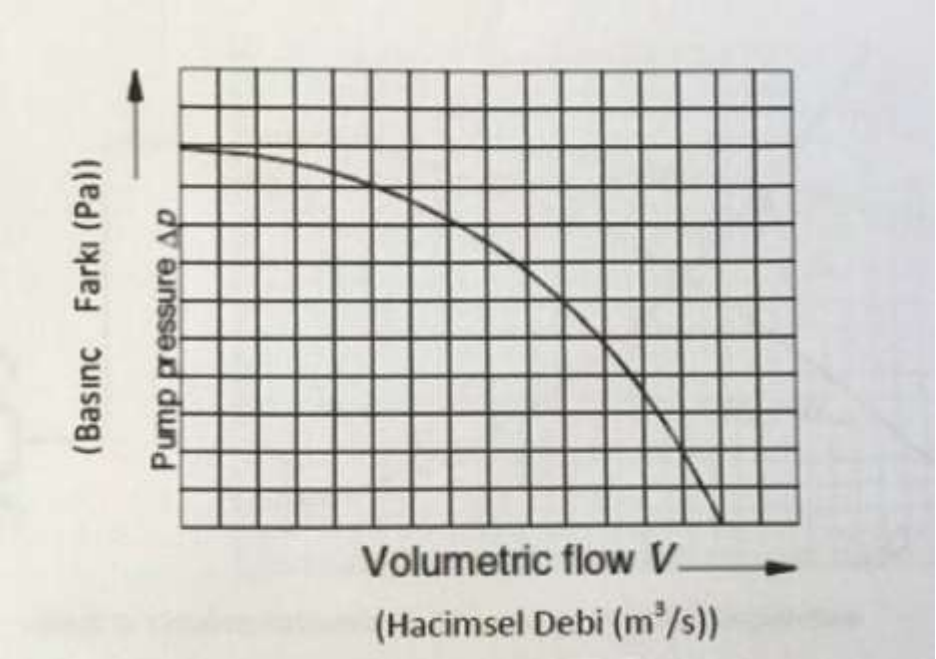


Şekil 1'de görüldüğü gibi sıvı, pompa emme bölgesinden (4) kanatlı çarka (1) girer. Çark sıvıya dönme hareketi verir. Çarkın dönme hareketini yapmasını sağlayan helisel gövde (2)'dir. Dönme hareketinin meydana getirdiği merkezkaç kuvvet etkisi ile sıvı dışa doğru savrulur ve çıkış nozuluna yönlenir (3). Pompanın çıkış bölgesi basıncı emme bölgesi (4) basıncından fazladır. Aynı şekilde pompayı terk eden sıvının enerjisi giren sıvıdan fazladır.

Santrifüj pompa veya pompalar tekil, seri veya paralel biçimde bağlanır. Farklı hacimsel debiler uygulanarak pompa karakteristikleri, pompa karakteristik eğrileri ve gerekli pompa gücü bulunur. Çizilen karakteristik eğrilerin karşılaştırılması yapılır.

Pompa Karakteristik Eğrileri Pompa karakteristik eğrileri bir pompanın sabit devir sayısında su basması halinde manometrik basma yüksekliği H, pompa gücü P, pompa verimin değerlerinin debiye bağlı olarak değişimlerini gösteren eğrilerdir.

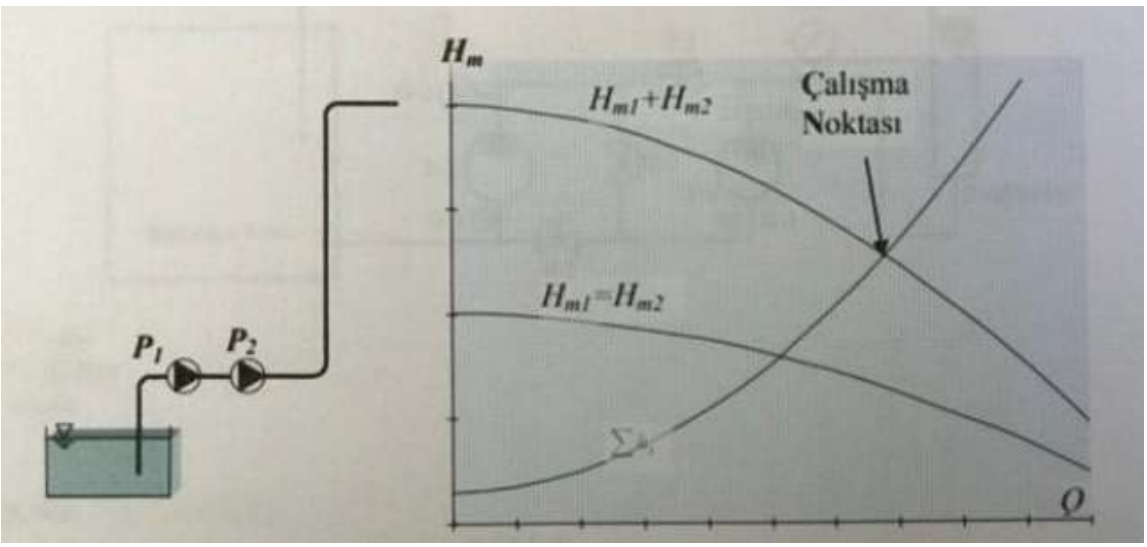
Hacimsel debi pompanın boru devresinde oluşturduğu basınca bağlıdır. Eğer gerekli pompa basıncı yüksekse hacimsel debi düşük olur. Düşük pompa basıncında hacimsel debi yüksektir. Bu bağıntılar Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Pompa karakteristik eğrisi.

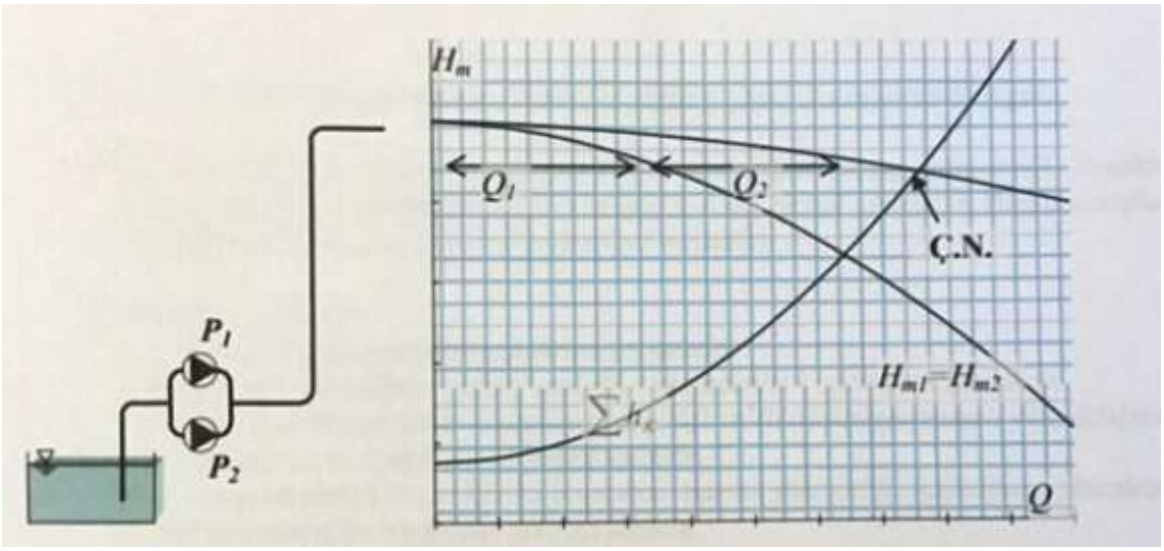
Seri Bağlı Santrifüj Pompaların Çalışma Prensibi

Pompaların seri çalıştırılması tesisattaki basıncın yetersiz olduğu hallerde basıncı arttırmak için uygulanan bir yöntemdir. İki ya da daha çok pompanın aynı boru hattında seri çalıştırılması halinde pompaların ortak karakteristiğini elde etmek için, pompaların aynı debideki manometrik yükseklikleri toplanır. Seri çalışan pompaların debileri eşittir. Pompa karakteristik eğrileri daha dik hale gelir (Şekil 3).

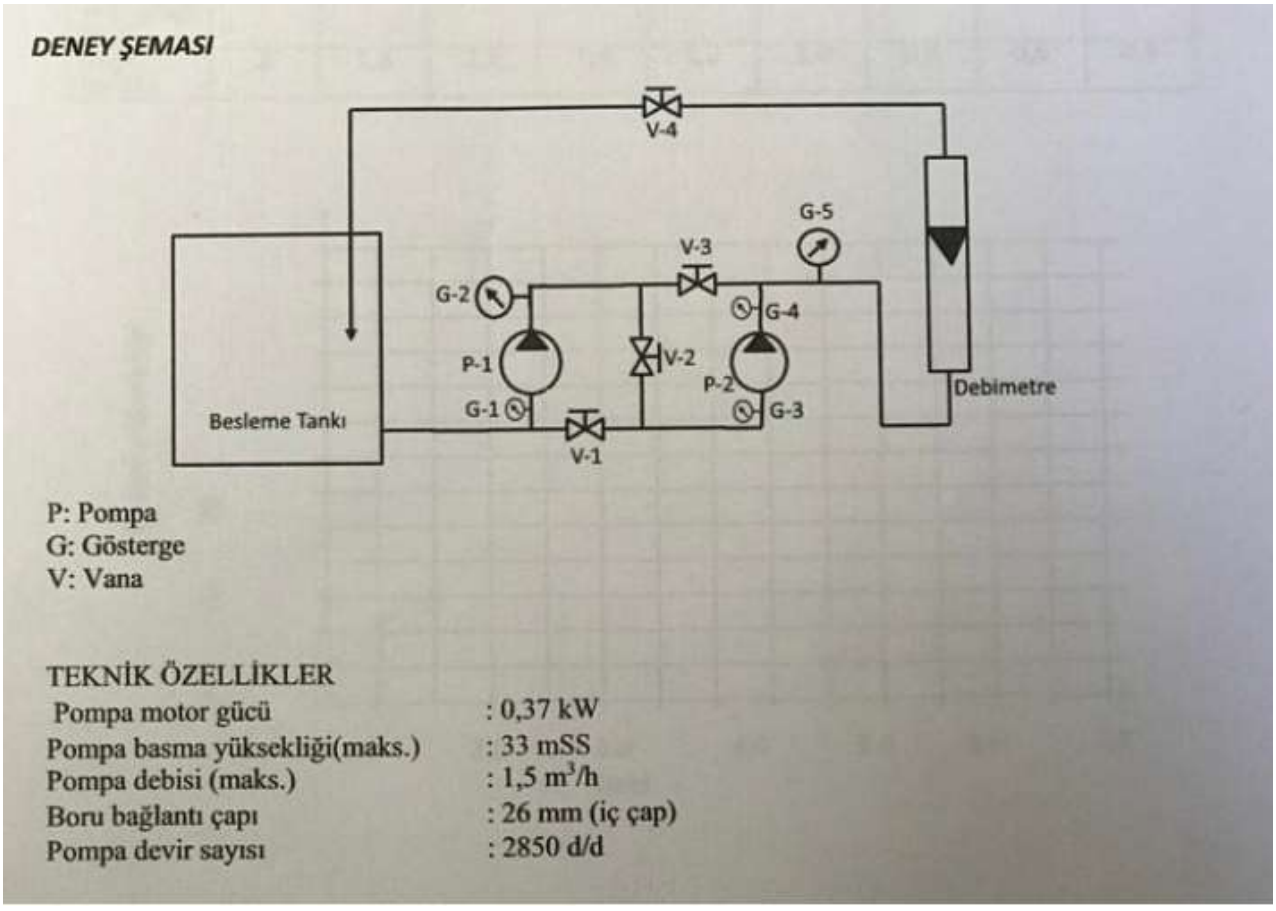


Şekil 3. Karakteristikleri aynı iki pompanın seri bağlanması.

Paralel Bağlı Santrifüj Pompaların Çalışma Prensibi Aynı tesisatta iki ya da daha çok pompanın paralel çalışması halinde ortak karakteristiği elde etmek için pompaların aynı manometrik yükseklikteki debileri toplanır. Aynı boru hattında paralel çalışan pompaların manometrik yükseklikleri eşittir (Şekil 4).



Şekil 4. Karakteristikleri aynı iki pompanın paralel bağlanması.



DENEYİN ADI: Pompa basma yüksekliği-debi ilişkisi (karakteristik eğri)

DENEYİN AMACI: Pompa tarafından sağlanan toplam basma yüksekliği. Pratikte pompa giriş ve çıkıştaki, potansiyel ve hız, basınç farkları ihmal edilebilir. Böylece toplam basma yüksekliği, basınç yüksekliği olarak kabul edilebilir.

DENEYİN YAPILIŞI:

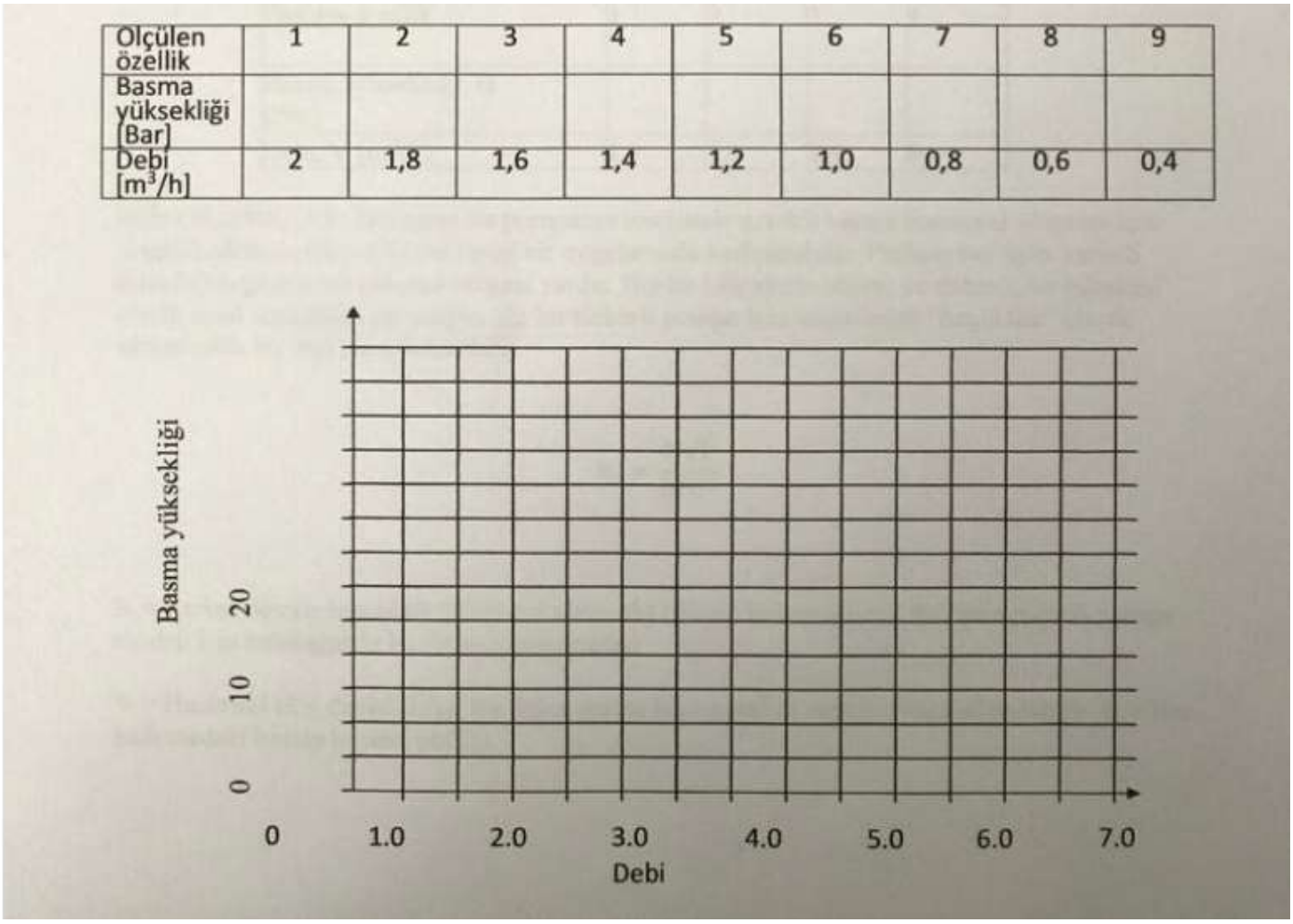
1. 3 ve 4 no'lu vanaları tam açık konuma getirin. 2. Sigortayı 1 konumuna getirip anaşalter yardımıyla 1. pompayı çalıştırın.

3. Debiyi 2 m /h ten itibaren her defasında 0,2 m /h düşürerek basma yüksekliğini 3 no'lu göstergeden okuyun ve aşağıdaki tabloya kaydedin.

4. Su akışı tamamen kesildiğinde pompanın basma yüksekliği maksimum olacaktır.

5. Tablo değerlerini aşağıdaki grafiğe aktarın.

Olçülen özellik	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Basma yüksekliği [Bar]									
Debi [m^3/h]	2	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4



DENEYİN ADI: Pompa özgül hızının bulunması

DENEYİN AMACI: Pompa özgül hızı, farklı pompaları benzerlik bağıntılarına göre karşılaştırma imkânı verir aynı zamanda çark tipinin bir fonksiyonudur. Pompa çark tipleri maksimum verimdeki özgül hızlarına göre sınıflandırılır. Pompa özgül hızının deneysel olarak bulunması bu bilgilerin pekiştirilmesini sağlayacaktır.

DENEYİN YAPILIŞI:

1. 3 ve 4 no'lu vanaları tam açık konuma getirin.

2. Sigortayı 1 konumuna getirip 1 no'lu düğme yardımıyla 1.pompayı çalıştırın.

3. Debiyi 3 m/h' basma yüksekliğini de 1,8 Bar değerine ayarlayın.

4. Devir sayısı sabit kabul edilerek 2850 d/d alınabilir.

5. Tablo değerlerini yukarıdaki formülde yerine koyup özgül hızı hesaplayın.

Ölçülen özellik	1	2	3	4
Basma yüksekliği, H [Bar]				
Debi, V [m3/h]	1,8	1,4	1,0	0,6

HESAPLAMALAR: Herhangi bir pompanın teorisinde gerekli basma basıncına ulaşmak için yeterli kademelendirme ile herhangi bir uygulamada kullanılabilir. Pratikte her tipin verimli çalışabileceği ayrı bir çalışma bölgesi vardır. Biz bu bölgelerin basınç ve debinin bir bileşkesi olarak nasıl seçildiğini göreceğiz. Bu bir türbinli pompa için tanımlanan "özgül hız" olarak adlandırılan bir sayı ile açıklanabilir.

$$N_s = \frac{N\sqrt{V}}{H^{0,75}}$$

N= Çarkın dönme hızı (d/d) (2850 d/d alınacak) (Bizim kullandığımız Rainpump qb60 pompa modeli için kataloğunda bu değer yazmaktadır)

V = Hacimsel akış debisi (L/s). Bu değer yerine bazen (m/d) veya (m2/h) kullanılabilir. H=Her kademedeki basma basıncı (mSS)

DENEY ADI: Pompa ENPKY değerinin bulunması

DENEYİN AMACI: Pompa girişindeki basınç negatif olduğunda veya pompalanan sıvı sıcaklığı yükseldiğinde kovuklaşmadan korunmak için emmedeki net pozitif kullanışlı yükün, ENPY'den daha büyük olduğu kontrol edilmelidir.

DENEYDE KULLANILACAK ALET VE CİHAZLAR: Termometre

DENEYİN YAPILIŞI:

1. 2 ve 4 no'lu vanaları açıp diğerlerini kapatın.

2 Her iki pompayı da çalıştırın.

3. 1 no'lu bileşik göstergeden vakum değerini kPa olarak tabloya kaydedin.

4. Suyun bu basınçtaki buharlaşma basıncını ekteki tablodan okuyup kaydedin.

5. ENPKY değerini aşağıdaki formül yardımıyla hesaplayın.

Ölçülen özellik/ölçüm sayısı	1	2	3
Emme hattı basıncı [kPa]			
Emme hattı mutlak basıncı [kPa]			
Suyun buharlaşma basıncı [kPa]			
Su hazne sıcaklığı [0C]			

HESAPLAMALAR: Emmedeki net pozitif kullanışlı yük; girişteki mutlak basınç ile pompalanan sıvının buharlaşma basıncı arasındaki farktır.

$$ENPKY = \frac{p_i - P_v}{\rho g}$$

ENPKY - Emmedeki net pozitif kullanışlı yük (m)
pi - Pompa girişindeki mutlak basınç (Pa)
Pv - Sıvının mutlak buharlaşma basıncı (Pa)
p=Sıvının yoğunluğu (kg/m3) g=yerçekimi ivmesi
Not: Pmutlak=Pgösterge + Patm Patm=1,013 bar=101,13 kPa
Suyun farklı basınçlarda buharlaşma sıcaklığı

Buharlaşma sıcaklığı, (°C)	Basınç [kPa]	Buharlaşma sıcaklığı, Pb (°C)	Basınç [kPa]
7	1	81	49,34
33	5,03	86	60,14
46	10,1	90	70,14
60	19,94	94	81,49
69	29,86	97	90,97
76	40,22	100	101,35

Yukarıda ve aşağıda gerek tekil gerekse de hem paralel hem de seri pompa için karakteristik eğri çıkarılma deneyleri gösterilmektedir. Bu deney setlerinde sonuca giderken asıl amaç pompa basınçlarını (pompanın akışkana kazandırdığı basınç elde etmektir. Bu aşamada da bilinen, Akışkanlar Mekaniğinde kullanılan Bernoulli denklemi geçerli olacaktır ve kullanılabilir.

$$\Delta H = \frac{P_2 - P_1}{\rho\, g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + z_2 - z_1 + \Delta H_{kayıp}$$

P2=Basma Bölgesi Basıncı (N/m2) Pl=Emme Bölgesi Basıncı (N/m2) p=Yoğunluk (kg/m3) c2=Basma Bölgesindeki Hız (m/s) cl=Emme Bölgesindeki Hız (m/s)

Burada ele alınan paralel ve seri santrifüj pompa deney setinde pompaya giriş ve çıkış hızlarını eşit kabul edebiliriz. Hatta boru içindeki sürtünmeden ve dirseklerden kaynaklanan kayıp enerji AHkayıp'ı da sıfır olarak varsayarsak denklem şu hale dönüşecektir.

$$\Delta H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + z_2 - z_1$$

İstenirse hesaplara bahsi geçen sürtünme kayıpları da ilave edilebilir. Bunun için aşağıda verilen denklemler kullanılabilir.

$$\Delta H_{kayıp} = \Delta H_{boru} + \Delta H_{dirsek}$$

$$\Delta H_{boru} = f \frac{L}{D} \frac{c_{ort}^2}{2g}$$

$$\Delta H_{dirsek} = \xi \frac{c_{ort}^2}{2g}$$

Yükseklik farkları belirlenirken pompa giriş ve çıkış basınç ölçüm noktalarında aynı noktadan merkezli yükseklik ölçümleri yapılacaktır. Örneğin pompa ağız merkezli ölçümler yapılabilir veya iki nokta arasındaki yükseklik giriş ve çıkış vasıtasıyla direk ölçülebilir.

DENEYİN ADI: Seri pompa karakteristik eğrisinin çizilmesi

DENEYİN AMACI:Pompaların seri bağlanmasıyla basınçta önemli bir artış olmasına rağmen debi o ölçüde artmaz. Đki özdeş paralel pompanın seri bağlanmasıyla yeni karakteristik eğri teorik olarak çizilebileceği gibi deneysel olarak da bulunabilir. Bu deney teorik ve deneysel grafikler arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilir.

DENEYİN YAPILIŞI:

1. 2 ve 4 no'lu vanayı açın ve diğerlerini kapalı konuma getirin.

2. Pompaların her ikisini de çalıştırın.

3. 4 no'lu vanayı kademeli olarak 0.5 Barlık basınçtan itibaren 0.5 Bar arttırarak su debisi sıfıra ininceye kadar kapatın ve her kademedeki basma ve debi değerlerini tabloya kaydedin.

Ölçülen özellik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Basma yüksekliği [Bar]	0,5	1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5
Debi [m3/h]										

4. Tablo değerlerini aşağıdaki grafiğe aktarıp seri pompa karakteristik eğrisini çizin.

DENEYİN ADI: Paralel pompa karakteristik eğrisinin çizilmesi

DENEYİN AMACI: Pompaların paralel bağlanmasıyla debide önemli bir artış olmasına rağmen basınç o ölçüde artmaz. İki özdeş paralel pompanın seri bağlanmasıyla yeni eğri deneysel olarak bulunabilir.

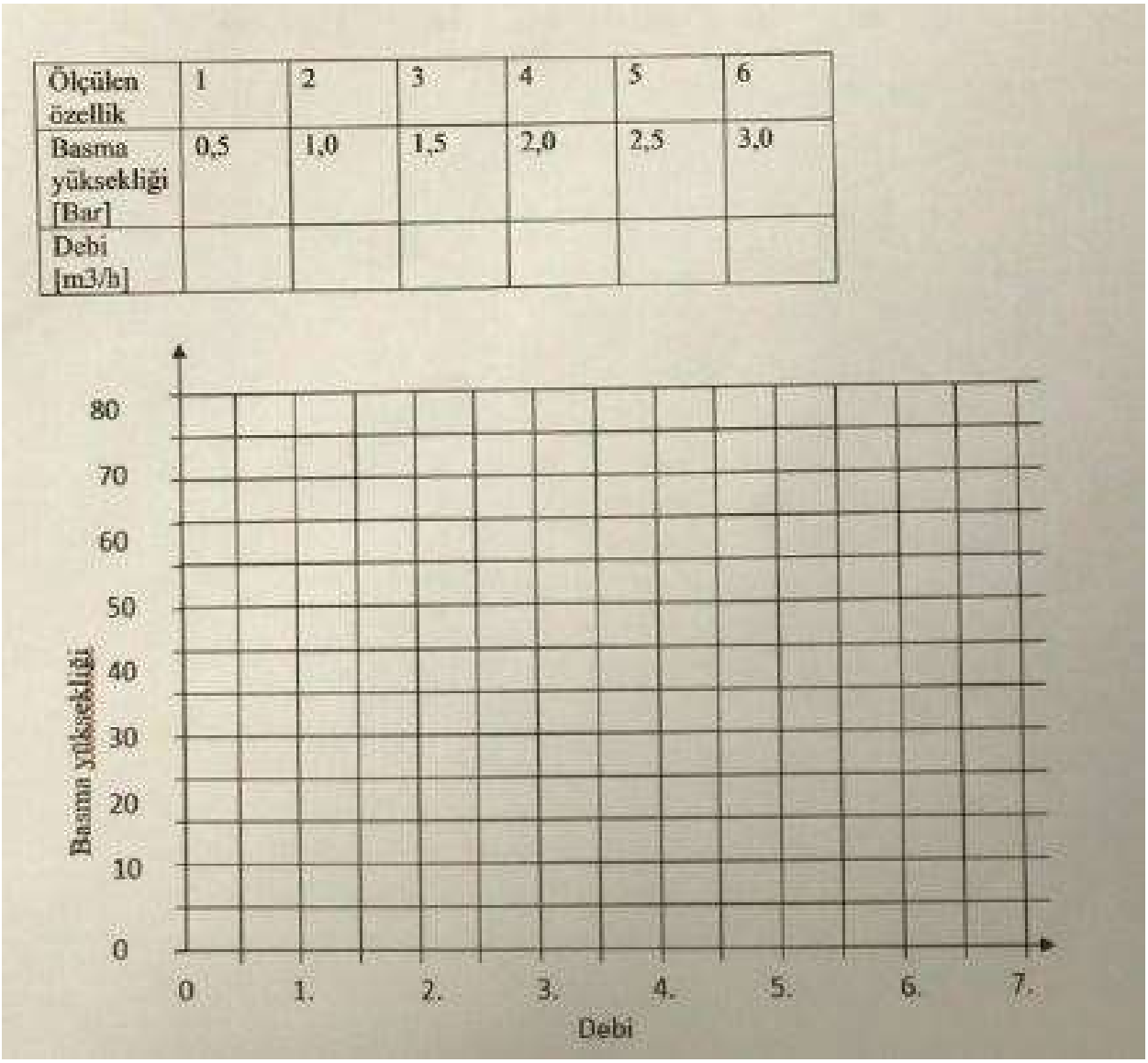
DENEYİN YAPILIŞI:

1. 2 no'lu vanayı kapatıp diğerlerini açın.

2. Pompaların her ikisini de çalıştırın.

3. 4 no'lu vanayı kademeli olarak 0.5Bar basınçtan itibaren 0.5 Bar arttırarak su debisi sıfıra ininceye kadar kapatın ve her kademedeki basma ve debi değerlerini tabloya kaydedin.

Ölçülen özellik	1	2	3	4	5	6
Basma yüksekliği [Bar]	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Debi [m3/h]						

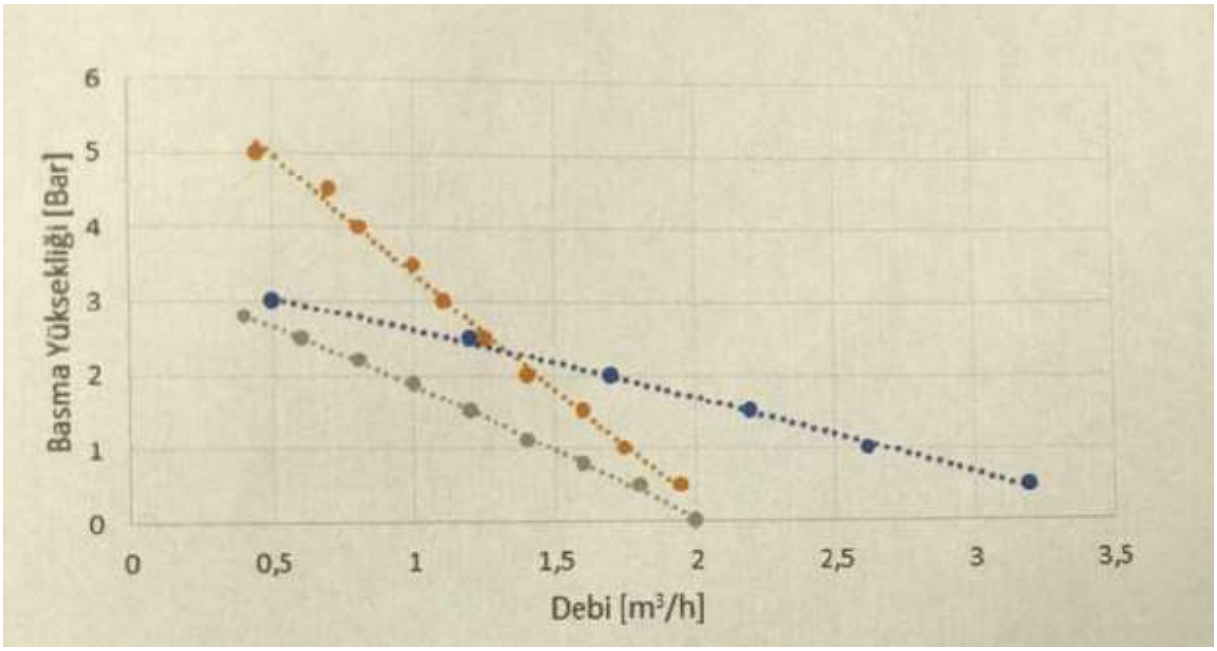


4. Tablo değerlerini aşağıdaki grafiğe aktarıp seri pompa karakteristik eğrisini çizin.

Deney örneği: Yukarıdaki deneyler ile oluşturulmuş pompa karakteristiklerini içeren bir deney örneğinin sonuçları aşağıda verilmiştir.

Gri çizgi: Tekil pompa karakteristiği Kırmızı Çizgi: Seri bağlanmış pompa karakteristiği Mavi çizgi: Paralel bağlanmış pompa karakteristiği

Burada da gözlemlendiği gibi seri bağlı pompalarda basma yükseklikleri, paralel bağlıda ise debiler toplanmaktadır.



DENEY 7: MEKANİK TİTREŞİM DENEYİ

PROF. DR. MUSTAFA YAMAN **YER:** MAKİNE TEORİSİ VE DİNAMİĞİ LAB.
DENEY SORUMLUSU: ARŞ. GÖR. YEŞİM SEÇER

Giriş

Titreşimler, cisimlerin ya da sistemlerin (bizim üzerinde özellikle duracağımız mekanik veya yapısal sistemlerdir) bir denge konumuna göre salınımlarıdır [1]. Bir gitar telinin hareketi, engebeli bir yol boyunca seyahat eden otomobilde yolcuların hissettiği hareket, rüzgar veya deprem nedeniyle yüksek binaların sallanması ve bir uçağın türbülanstaki hareketi tipik titreşim örnekleridir. Aslında duyma, görme, konuşma, yürüme ve nefes alma gibi birçok insan aktivitesi de salınımlı hareket içerir. İşitme kulak zarının titreşimini içerir, görme ışık dalgalarının titreşimsel hareketi ile ilişkilidir, konuşma gırtlağın salınımını gerektirir (dil), yürüme bacakların ve ellerin salınımlı hareketini içerir ve solunum akciğerlerin periyodik hareketine dayanır. Mühendislikte, mekanik ve yapısal sistemlerin titreşimsel davranışının anlaşılması, çeşitli makine ve yapıların güvenli tasarımı, yapımı ve işletimi için önemlidir [2].

Serbest titreşimler, yapının doğal frekansında titreştiği birçok yapıda meydana gelir. Bir dış kuvvetin yapının doğal frekansı da dahil olmak üzere herhangi bir frekansta titreşmesine neden olduğu durumlarda zorlanmış titreşimler meydana gelebilir. Zorlanmış titreşim frekansının doğal frekansa eşit olması durumunda yapı potansiyel olarak tehlikeli bir genlikte rezonansa girerek yapıya zarar verir. Tarihte bu durumun birkaç örneği vardır. Bunlara 1940'ta ABD'deki Tacoma Narrows Köprüsü'nün çökmesi ve 2000-2002'de Londra'da Millennium Köprüsü'nün geçici olarak kapatılması dahildir [3].

Tasarımcıların serbest ve zorlanmış titreşimlerin yapıları nasıl etkilediğini, neden olabileceği salınımların büyüklüğünü ve bunları nasıl azaltacağını (sönümleyeceğini) anlaması gerekir [3].

Deneyin Amacı

Mekanik titreşimler teorisinin deneysel sistem üzerinden uygulamalı olarak gösterilmesi ve titreşim parametreleri açısından irdelenmesi.

Teorik Bilgiler

a) Serbest Titreşim

Sisteme sadece bir başlangıç giriş enerjisi verilerek sistemin kendi doğal frekansında yaptığı titreşim serbest titreşim olarak ortaya çıkar. Şekil 1'de deney sisteminin şematik gösterimi verilmiştir.

Sistemin hareket denklemi yazılırsa;

$$I_A\ddot{\theta} + kx_s l_{spring} = 0$$

Toplam kütle atalet momenti (I_A) hesaplanırsa;

$$I_A = I_{beam} + I_{exciter} + I_{spring}$$

Kirişin A noktasına göre kütle atalet momenti;

$$I_{beam} = \frac{1}{12} m_{beam} {l_{beam}}^2 + m_{beam}\left(\frac{l_{beam}}{2}\right)^2 = \frac{1}{3} m_{beam} {l_{beam}}^2$$

Tahrik motorunun A noktasına göre kütle atalet momenti;

$$I_{exciter} = m_{exciter} {l_{exciter}}^2$$

Yay kütlesinin A noktasına göre kütle atalet momenti;

$$I_{spring} = \left(\frac{m_{spring}}{3} + m_{fixing}\right) {l_{spring}}^2$$

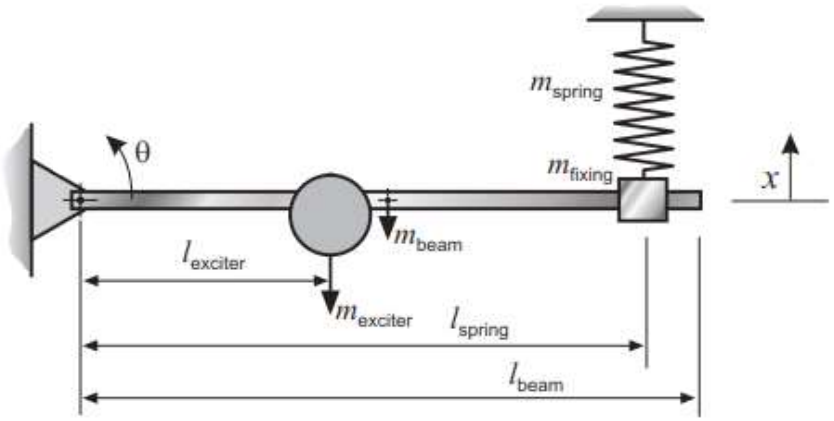
Küçük açısal yer değiştirme kabulü ile;

$$x_s = \theta l_{spring}$$

Hareket denkleminin nihai hali yazılırsa;

$$I_A \ddot{\theta} + k {l_{spring}}^2 \theta = 0$$

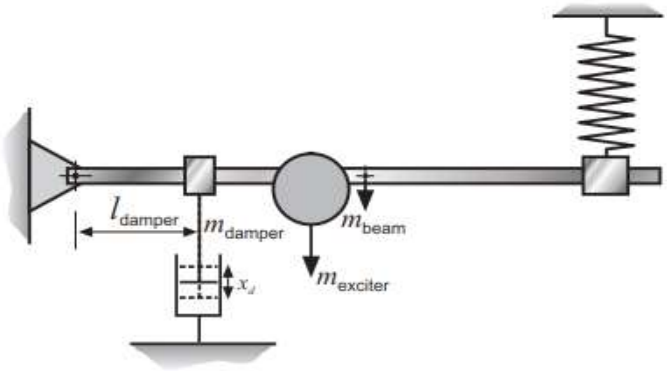
elde edilmiş olur.



Şekil 1. Deney sisteminin şematik gösterimi

b) Sönümlü Titreşim

Titreşim genliklerini azaltmak ya da ortadan kaldırabilmek için sönümleyiciler kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan sönümleme tipi viskoz sönümlemedir. Şekil 2'de sönümlü bir sistemin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2. Sönümlü titreşim sisteminin şematik gösterimi

Sönümlü sistemin hareket denklemi yazılırsa;

$$I_A\ddot{\theta} = -kx_s l_{spring} - cl_{damper}\dot{x}_d$$

Küçük açısal yer değiştirme kabulü ile denklem,

$$\ddot{\theta} + \frac{cl_{damper}^{\ 2}}{I_A}\dot{\theta} + \frac{kl_{spring}^{\ 2}}{I_A}\theta = 0$$

Daşpotun sisteme ilave edilmesi dolayısıyla toplam kütle atalet momentine eklenmesi gerekir.

$$I_A = I_{beam} + I_{spring} + I_{exciter} + I_{damper}$$

$$I_{damper} = m_{damper} l_{damper}^{\ 2}$$

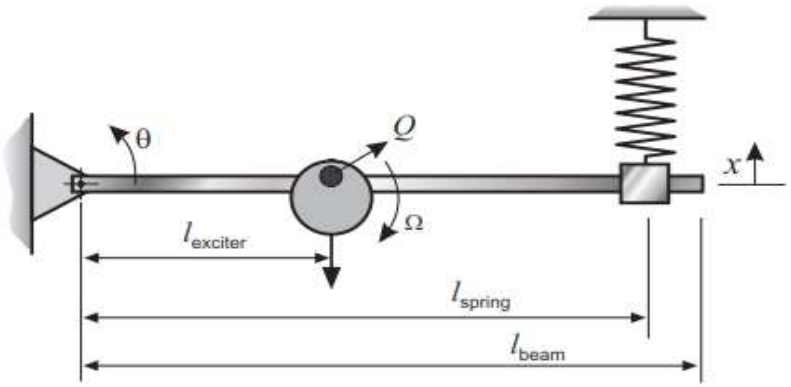
c) Zorlanmış Titreşim

Sistem üzerinde dönen ve dengelenmemiş kütleler sistemi titreşime zorlar. Şekil 3'de bu duruma maruz kalan bir sistemin örneği verilmiştir.

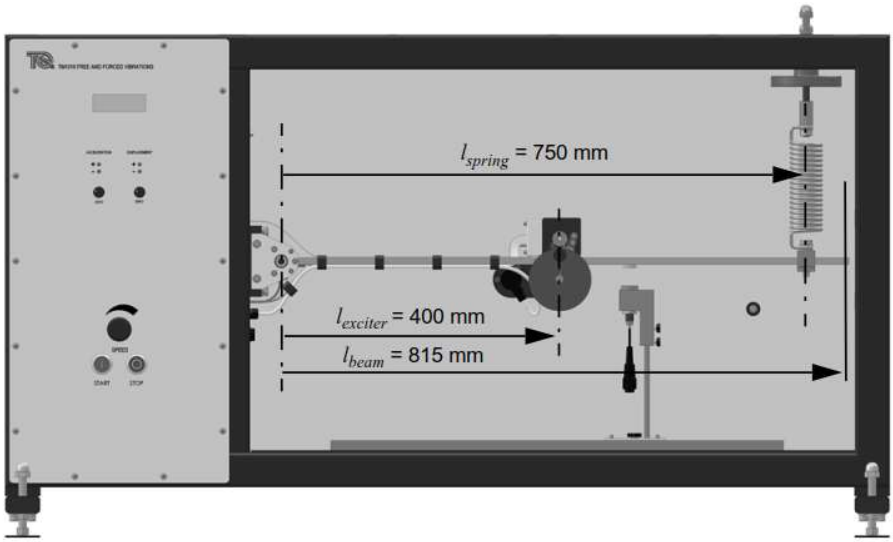
$$I_A\ddot{\theta} + cl_{damper}^2\dot{\theta} + kl_{spring}^{\ 2}\theta = l_{exciter} Q \sin\Omega t$$

$$Q = \Omega^2 m_{offsetmass} r_{offsetmass}$$

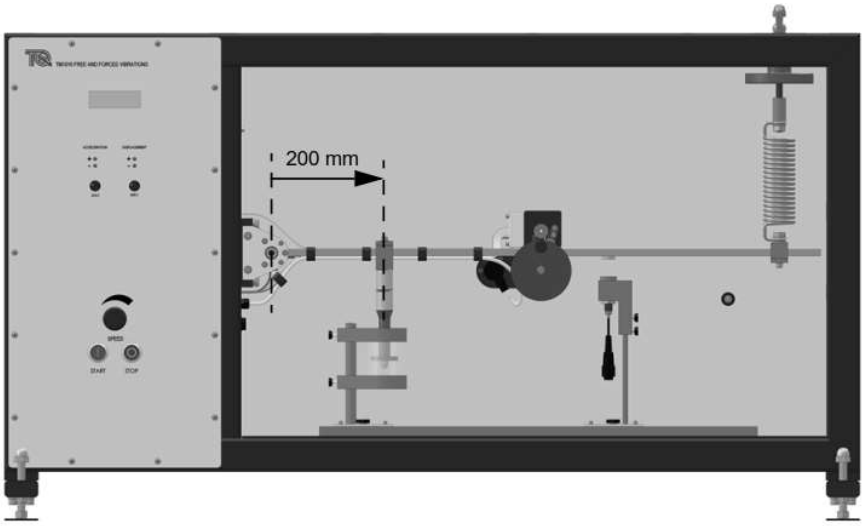
$$\ddot{\theta} + \left(\frac{cl_{damper}^2}{I_A}\right)\dot{\theta} + \left(\frac{kl_{spring}^{\ 2}}{I_A}\right)\theta = \left(\frac{l_{exciter} Q}{I_A}\right)\sin\Omega t$$



Şekil 3. Zorlanmış titreşim sisteminin şematik gösterimi



Şekil 4. Deney sisteminin gösterimi



Şekil 5. Sönümlü titreşim sisteminin gösterimi

d) Sisteme İlave Kütle Eklenmesi

Sisteme dışarıdan ilave kütle eklendiği takdirde sistemin doğal frekansının nasıl değiştiğini göstermek amaçlanmıştır.

Added Mass (kg)	Total Exciter Mass (kg)	I_{mass} (kg.m^2)	I_A (kg.m^2)	Natural Frequency f (Hz)	
				Measured	Theoretical
0	4.2				
Mass Holder = 0.2 kg	4.4				
400 g + 0.2 kg = 0.6 kg	4.8				
800 g + 0.2 kg = 1.0 kg	5.2				
1200 g + 0.2 kg = 1.4 kg	5.6				
1600 g + 0.2 kg = 1.8 kg	6.0				
2000 g + 0.2 kg = 2.2 kg	6.4				
m_{beam} = 1.65 kg l_{beam} = 0.815 m $l_{exciter}$ = 0.4 m		m_{spring} = 0.388 kg l_{spring} = 0.75 m m_{fixing} = 0.09 kg		I_{beam} = 0.365 kg.m^2 I_{spring} = 0.123 kg.m^2 k = 3800 N.m^{-1}	

Mass m_{beam}: 1.65 kg

Mass $m_{exciter}$: 4.2 kg

Spring Mass m_{spring}: 0.388 kg

Fixing Mass m_{fixing}: 0.09 kg

k_{spring}: 3800 N.m^{-1}

m_{damper} = 0.4 kg

Offset mass: 2 x 4.5 g

Kaynaklar

[1] Graham Kelly, Mechanical Vibrations Theory and Applications.

[2] Singiresu S. Rao, Vibration of Continuous Systems.

[3] TM1016 Free and Forced Vibrations User Guide, Tecquipment, UK.

DENEY 8: KOROZYON DENEYİ

PROF. DR. YAŞAR TOTİK **YER:** AR-GE LABORATUVARI

DENEY SORUMLUSU: ARŞ GÖR. BURAK ATİK

Giriş ve Konunun Önemi:

Endüstride kullanılan metallerin çoğu sulu ortamlarda doğal zeminlerde ve buna benzer şartlarda kararlı değillerdir. Metallerin hemen hepsi (saf olarak bulunan altın ve platin hariç) doğada oksit, sülfat ve karbonat bileşikleri halinde bulunurlar. İnsan gücü yanında önemli miktarda hammadde ve enerji tüketilerek saf hale getirilirken enerji kapasiteleri artar ve entropileri (düzensizlikleri) azalır fakat saf hale getirilmiş metaller 'Termodinamik Yasalar" a uyarak doğada bulundukları daha kararlı bileşiklerine dönme eğilimi gösterirler. Böylece metaller korozyon sonucu doğada bulundukları kararlı oksit, sülfat gibi minerallere dönüşürler. Endüstride malzeme olarak çokça kullanılan demirin; korozyonu sonucu oluşan pasın kimyasal analizi, demir oksitten oluştuğunu göstermiştir. Demir ise doğada bulunan demir oksit filizlerinden elde edilir.

Günümüzde Korozyon Kontrolü çok önemli bir konu olduğu halde pratikte yeteri kadar üzerinde durulmamakla birlikte endüstriyel yatırım ve üretim maliyetlerini etkileyen en önemli faktördür. Korozyon nedeni ile ülkelerin uğradıkları malzeme, enerji, emek ve bilgi kaybının yıllık değeri "Gayri Safi Milli Gelir'in % 3,5 ile %5'i düzeyindedir. Ülkemiz için bu kaybın % 4,5 civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu ise yılda yaklaşık 2,5 milyar dolarlık bir kayıp demektir.

Demir ve çeliğin bu korozif hassasiyeti önemli bir ilgi odağıdır. Çünkü uygun maliyetleri ve fiziksel özellikleri göz önüne alındığında çok büyük miktarlar kullanılmaktadır. ABD'de çeliğin korozyonundan dolayı yıllık kayıp. 70 milyar dolara yakın bir değere ulaşmaktadır. Demir ve çeliğin korozyona karşı korunması bakım mühendislerinin vazgeçilmez bir alanıdır.

Korozyon, metalik malzeme kullanılan her alanda beklenen doğal bir olaydır. Sebep olduğu maddi kayıplar yanında çevreyi kirleten, insan hayatını tehlikeye sokan bir değişimdir. Korozyon ve korozyondan korunmanın ilkelerini metal kullanan herkesin yanında öncelikle teknik elemanların da bilmesi büyük önem taşımaktadır.

Korozyon Nedir?

Genel olarak Korozyon", metalik malzemelerin katı, sıvı ve gazlar tarafından bozunması sonucu özelliklerini kaybetmesi ve kullanılmaz hale gelmesi olarak tanımlanabilir. Bir başka ifadeyle, korozyon kimyasal ve/veya elektrokimyasal reaksiyonlarla bozunmadır.

Korozyon, metallerin mekanik yollar dışındaki bozunumları olarak da tanımlanır böylece metal doğadaki haline döner. Demir ve çelik genellikle; oksijen ve suyun bulunduğu her ortamda korozyona uğrar. Korozyonun hızı, ortam koşullarına göre değişir. Örneğin, su içinde suyun hızı ya da asitliğiyle, metalin hareketiyle sıcaklıkta ya da havalanmadaki artışla, bazı bakterilerin veya başka etkili bir takım faktörlerin varlığıyla artış gösterir.

Korozyona Etki Eden Faktörler:

1. Malzeme seçimi: Üretimi düşünülen bir parçanın korozyona karşı olan direncinde malzeme seçimi ilk sırada gelir. Havacılık malzemesi üretiminde kullanılan malzemeler seçilirken çalışma özelliğine göre metal seçimi yapılır. Özellikle korozif ortamda çalışan parçaların üretimi esnasında korozyona daha az meyilli metal veya alaşımların kullanılması gerekir. Birbirine bağlanmış iki farklı metal arasında meydana gelecek

korozyonun hızı bu metallerin aktivitesine bağlıdır. Aktiviteleri arasındaki fark ne kadar büyük olursa korozyon o kadar hızlı meydana gelir.

2. Parça Boyutu: Kalın kesitli metal parçalara üretim esnasında sıcak işlem uygulanmışsa, bu parçaların korozyona uğrama ihtimali yükselir. Kesit büyüklüğü metal parçanın yapısal özelliğine ve üstleneceği göreve göre tasarlanır. Korozyonun yapacağı etkiyi önlemek amacıyla metalin kesit büyüklüğünün değiştirilmesi genellikle tercih edilmez. Birbirine temas edecek şekilde iki farklı metal birlikte kullanıldığında metallerden aktif olanı ince kesitli ise korozyon hızlı ve hasarlı olarak gerçekleşir. Eğer aktif olan metal kalın kesitli ise korozyon yavaş ve az hasarlı gerçekleşir. Bu durumda iki metal arasında yalıtım gerekebilir. Aksi halde anot durumundaki metal kullanılmaz hale gelecektir.

3. Coğrafi yerleşim: İklim bölgelerindeki şartlara göre meydana gelebilecek korozyonun şiddeti değişebilir. Tropik deniz ve okyanus bölgelerindeki yüksek hava sıcaklığı denizden yükselen tuz yüklü hava ile birleşerek kısa sürede metaller üzerinde şiddetli bir korozyon oluşmasına neden olur. Bu bölgelerde etkin bir koruyucu bakım işlemi uygulanması gerekir.

Ilımlı hava iklimine sahip endüstriyel bölgeler ise korozyon riski açısından tropikal bölgelerden hemen sonra gelir. Yüksek sıcaklık ve nemin oluştuğu zamanlarda metal yüzeyleri yaygın olarak korozyon etkisi altında kalır. Fabrikalardan, binalardan ve taşıtlardan çıkan duman, is, toz ve artık gazlar metalleri olumsuz yönde etkiler.

Buzul veya çöl iklimine sahip bölgelerde ise korozyon oluşma ihtimali çok azdır. Çünkü söz konusu (her iki bölgede de nem oranı düşüktür. Buna karşılık özellikle çöl iklimine sahip bölgelerde iki olumsuz etken olarak çok yüksek sıcaklık ve kum fırtınası tehlikeleri oluşabilir.

4. Isıl işlemler: Isıl işlem sonrasında büyük metal parçaların her bölgesinde aynı oranda soğuma meydana gelmez; metalin değişik bölgelerinde kimyasal kompozisyon farkı oluşur. Bu durum aynı parçada farklı aktivite bölgeleri oluşturarak galvanik korozyona neden olabilir. Haddeleme dövme ve presleme ile üretilen alaşımlar yönlenmeye göre değişen özelliklere sahip olur. Örneğin sonlarda bulunan taneler uzatılmış düz yüzeylere göre daha kolay korozyona: uğrar. Isıl işlem metalin korozyona karşı direncini artırmada önemli bir etkendir. Buna karşılık, uygun olmayan ısıl işlemler metalin korozyona karşı olan direncini azaltır.

5. Elektrolit: Elektrolit; elektrik akımına olanak sağlayan herhangi bir eriyik olabilir. Nemin mevcut olmadığı normal hava sıcaklıklarında metaller korozyona maruz kalmazlar. Eriyikteki iyon sayısı arttıkça iletkenlikte artar ve buna bağlı olarak da elektrolitin iletkenlik derecesi de artarak korozyonu hızlandırır. Suda çözünmüş oksijen miktarı da korozyon oluşumunu etkiler. Farklı konsantrasyonda oksijen içeren çözeltilere daldırılan metallerde korozyon oluşur. Ayrıca, aynı yüzey üzerinde farklı konsantrasyonlarda elektrolit bulunması durumunda da korozyon meydana gelir, bu duruma korozyon konsantrasyon hücresi denir.

6. Mikrobiyolojik Organizmalar: Çürüyen ölü mikrobiyolojik organizma parçaları ve canlı organizmaların yapmış oldukları asit salgıları rutubetten dolayı korozyonun oluşmasına neden olur. Özellikle yakıt depolarında önemli sorunlar meydana getirebilirler. Bunlar sadece yakıta karışmakla ve göstergeleri yanıltmakla kalmayıp, yakıt depolarının korozyona maruz kalmasına da neden olmaktadırlar. Bunlar depo içerisindeki su ile yakıtın birleşme noktalarında bulunur. Şu yakıttan ağır olduğu için, su tabakası alttadır. Bu durumda yakıt hattı tıkanabilir ve yakıt deposunun metal yüzeyinin koruyucu kaplaması mikrobiyolojik organizmalar tarafından zedelendiği zaman korozyona uğrar.

7. **Mekanik gerilmeler:** Bazı malzemeler korozyonun bir türü olan gerilmeli korozyon çatlamasına karşı hassastırlar. Mekanik şekillendirme, kaynak veya ısıl işlem gibi üretim süreçleri parçalarda bazı kalıcı gerilmelere sebep olur. Bu kalıcı gerilmeler üretilen parçaların kullanıldığı önemli bölgelerde hızlı bir şekilde hasara neden olabilecek korozyonu meydana getirebilirler

Korozyon Çeşitleri

1. Tekdüze Yüzey Korozyonu: Yüzeyin matlaşması ve dağlanması şeklinde ortaya çıkar, devam ederse yüzey pürüzlü hale gelir. Yüzeyde sürekli hareket vardır. Anot ve katot bölgeleri ufaktır. Yüksek sıcaklık korozyonu ile karıştırılmamalıdır. Özellikle magnezyum gövde yüzeyleri ile çubuk ve yataklarda görülür.

2. Galvanik Korozyon: Farklı metaller ile iletken bir çözelti ile temas halindelerse ortaya çıkar.

Rutubet ve kirlilikle olasılığı artar. Yüksek aktivite farklılıkları olan metaller bir araya getirilmek mecburiyetinde ise anodik olan izole edilmelidir. Çelik tutturucular ve alüminyum gövde parçalarında rastlanılır.

3. Oyuklaşma (pitting) korozyonu; Alüminyum ve magnezyum alaşımlarda en sıklıkla görülen korozyon türüdür.

Yüzeyde beyaz *v*eya gri toz çökelti şeklinde: bulunur, temizlendiğinde yüzeyde küçük oyukluklar görülür. Küçük aktif anotların ve büyük pasif katotların bir araya gelmesi ciddi oyuklaşma korozyonuna neden olur. Özellikle hidrolik silindirler ve kanat menteşe yataklarında görülür:

4. Taneler arası korozyon: Korozyon olayının malzemenin tane sınırları yakınında yoğunlaşması sonucu ortaya çıkan bozunma türüdür. Tane sınırları korozyonunun en belirgin özelliği çok küçük ağırlık kaybına karşın, korozyon hızının tane sınırları yakınında çok yüksek değerlere ulaşabilmesidir. Bu koşul: parçalarına kısa sürede tüm kesit alanı boyunca korozyona uğrayarak bozunmalarına yol açar: Taneler bütünlük ve şekillerini korurlarken taneler arası bağ bozunmaya uğrar. Bunun sonucu olarak metallere özgü bazı tutumlarda önemli değişiklikler beklemek gerekir. Bunlardan en önemlisi korozyonun etken olduğu bölgelerde mekanik dayancın sıfıra indirgenmesidir. Parçaların dış görünüm ve ölçülerinde önemli bir değişiklik görülmez. Bu koşullar: tane sınırları korozyonun izlenmesini ve kontrol altına alınmasını güçleştirir.

5. Pullanma (exfoliation) korozyonu: Taneler arası korozyonun çok daha ilerlemiş türüdür.

Korozyon Ürünlerinin hacimce büyük olması nedeniyle tane sınırları etraflarına kuvvet uygularlar, Metal yüzeye yakın alanlarda taneler kalkabilir. Haddeleme, dövme vb. İşlemle şekillendirilmiş yüksek mukavemetli alüminyum ve magnezyum parçalarda görülür.

6. Aralık korozyonu: Aralık korozyonu; perçin civata gibi birleştirmelerden dolayı oluşan veya kaplamaların altında kalın dar aralıkta oluşan bir korozyon türüdür. Bu tür dar aralıklar, içerisinde durgun çözelti bulunduran yerlerdir. Bu bölgelere oksijen difüzyonu zordur. Metaller üzerinde biriken kir ve birikintilerin altında da bu tür korozyona rastlamak mümkündür. Bazı makine parçalarında montaj sırasında yok edilemeyen dar bölgeler ve aralıklar vardır ve aralık korozyonun oluşumu bu bölgelerden başlar.

7.Gerilmeli korozyon çatlaması (scc): Saldırgan ortamlarla temas halinde olan makine parçaları ve metal yapıların çoğu mekanik gerilimler altındadır. Yüksek basınçlı kaplar, buhar kazanları, içten yanmalı motorların silindir gömlekleri, pompa mili ve rotoru verilebilecek çok sayıda örnekten birkaçıdır. Gerilimli korozyon aynı zamana rastlayan korozif ve mekanik etmenlerin yol açtığı bozunma türü olarak tanımlanabilir. Bozunma parça yüzeyinde mevcut çatlaklar veya gerilim yoğunlaşmasına olanak sağlayan diğer geometrik düzensizliklerle başlar (örneğin, çukurcuk korozyonunun parça yüzeyinde oluşturduğu çukurcuklar mekanik gerilimlerin de etkisi altına girerek keskin ucu çatlaklara dönüşebilirler). Çatlaklar mekanik gerilimlerin büyüklüğü ve çevresel koşulların etkenliğine bağlı olarak belirli hızlarla malzeme içine doğru yürürler: Parça kesitinin mevcut yükleri taşıyamayacak ölçüde daralması sonucu ani kopmalar meydana gelir

8. Hidrojen gevrekliği: Yüksek mukavemetli çelikler, alüminyum alaşımları ve bazı paslanmaz çelikler çeşitli asidik banyolara daldırıldıklarında metal yüzeyinde meydana gelen katodik reaksiyon sonucu hidrojen

gazı açığa çıkar. Hidrojen metale nüfuz ederek tane sınırlarında birikir ve malzemeyi zayıflatır. Eğer parça yük altında veya üretimden gelen kalıcı gerilmeler içeriyorsa bu gerilmeleri kaldıramaz ve ani olarak hasara uğrar.

9.Yorulma korozyonu: Korozyonlu yorulma çevrimli gerilme ve korozyonun müşterek etkisi ile meydana gelen ve gerilmeli korozyon çatlamasına benzeyen bir hasardır. Korozyonlu yorulma hasarı iki aşamada meydana gelir: 1) Korozyon ve alternatif gerilmelerin birlikte etkisi sonucu metal oyuklanma ve oyuk bölgesinde çatlak oluşumu ile hasar, 2) Doğrusal yorulma moduna göre çatlağın ilerlemesi. Korozyonlu yorulma nedeniyle parçanın kırılması limit yorulma gerilmesinin çok altında ve inanılmayacak derecede küçük korozyon şiddetinde meydana gelebilir.

10. Kurtçuk (filiform) korozyonu: Bu tür korozyon aralık korozyonunun özel bir şeklidir ve yüzeyleri organik kaplamalı metallerde meydana gelir. Boya filmin altında oluşan kurt (ince tel) şeklindeki korozyon ürünleri sayesinde tanınır. Filiform korozyon havadaki nem miktarının %.78 ile % 90 arasında ve yüzeyin hafifçe asidik olduğu durumlarda meydana gelir. Çelikler, magnezyum ve alüminyum yüzeylerinde meydana gelir ve bazı bölgelerde çok ciddi korozyona neden olur... Özellikle uçak gövdelerinde, çelik tutturucuların etrafında ve pylon tanklarında görülür.

11. Aşınma korozyonu: Konsantrasyon hücre korozyonunun özel bir türüdür ve yüzey aşınması ile birlikte meydana gelir. Korozif ortamda birbirlerine sıkıca bağlanmış yüzeyler ve yüksek basınç altında kalan parçalarda titreme sonucu gelen hareketler ile oluşur. Korozyon bölgesinde görülen pürüzlü yüzey çukurcukları; korozyonlu metalin kopuk ve çentikleri açık belirtileridir. Ortamdaki korozyon ürünleri yüzeyin aşınmasını artırır ve korozyona uğrayacak yeni yüzeylerin ortaya a çıkmasına neden olurlar. Toplam etki aşınma veya korozyonun tek başına meydana getireceği ok etkilerin toplamından daha fazladır.

12 Yüksek sıcaklık korozyonu: Susuz ortamda korozyon yüksek sıcaklıklarda meydana gelir. Ortam yeteri kadar sıcaklığa ulaştığında metaller ortamdaki gazlar ile reaksiyona girerek yüzeylerinde oksit tabakası oluşur. Ortamda bulunan kirleticiler örneğin klorürler ve sülfatlar metalik oksitlerin erime sıcaklığını düşürerek ve buharlaşmasını teşvik ederek sıcak korozyonu hızlandırabilir.

Korozyondan Korunma Yolları:

Korozyon, metal ile ortam arasında arayüzeyde oluşan bir olay olduğuna göre korozyondan korunma yöntemleri de şunlardır:

1. Malzeme yapısını seçmek
2. Üretim ve dizaynı
3. Koruyucu kaplama
4. Ortamın değiştirilmesi
5. Elektrokimyasal metodlar

1. Malzeme Yapısını Seçmek: Mümkün olan bazı eklemeler ve etkileri aşağıdaki gibidir.

Karbon ve düşük alaşımlı çeliğe % 0.20 bakır eklenmesi korozyon direncini 1.5 ila 3 kat arttırır. Paslanmaz çeliğin bileşen olan krom, nikel ve molibden korozyon direncini çok arttırır.

Aluminyum içindeki demir düzensizlikleri korozyona eğilimi arttırır. Tuzlu suda %99.99 saf aluminyum %1 Fe içeren aluminyumdan 20 kere daha dirençlidir. Deniz suyu sistemlerinde kullanılan tüm pirinç bileşenlerine çinkonun çözülmesine karşı

%0.002-0.006 arsenik eklenmelidir.

2. Dizayn ve üretim: Bölgesel korozyonu önlemek için, dizayn ve üretim safhalarında da uyulması gereken bazı kurallar vardır. Galvanik serilerde birbirlerinden uzak yerleştirilmiş, benzer olmayan metallerin direk teması engellenmelidir.Örneğin aluminyum alaşımları-bakır veya aluminyum alaşımları-paslanmaz çelik birbirlerine temas etmemelidir. Bu materyalleri neopren, bitumen, polivinil klorür tabakalarıyla ayırmak *v*eya kaplamayla mümkündür. Yarıkların önlenmesi mümkün değilse, aynı bileşikle doldurulmalıdır. Suyun hızında ani değişiklikler yapacak dizayn özellikleri önlenmelidir. Basınç korozyon çatlaklarına hassas metaller kullanılıyorsa, basınç minimum tutulmalıdır. Elektrikli makinalardan oluşan rasgele akımlar önlenmelidir.

3. Koruyucu Kaplama:

1-Korozyona sebep olan ortamdan yüzeylerin edilmesini (anot ve katod olanları arasında iyon geçişinin durdurulması)

2-Katod koruması,

3-Korozyon reaksiyonuna ters etkili reaksiyon oluşturmak,

4-Korunan metale göre, anot korumak için kullanılan metal (yani daha negatif elektrot potansiyeli olan) metal ile kaplama yapılarak katot koruması yapılır,

5-Ortamda yavaş çözülerek, metal bir yüzeyin belli bir süre korozyonun önleyen bileşenlerden oluşan boyutlarla koruyucu kaplaması yapılabilir. Örneğin, boyalara eklenen çinko kromat, alüminyum veya çelik yüzeyleri korur. Kaplamaların ekonomik yönü de önemlidir. Kaplama maliyet, tüm boyama maliyetinin %25'ini geçmemelidir

4. Ortamın Değiştirilmesi:

Sıcaklığı azaltmak

Hızı azaltmak

Oksijen veya oksitleyici vasıtaları ortadan kaldırmak.

Konsantrasyonu değiştirmek

5. Elektrokimyasal Metotlar:

Denizel: ortamdaki metalik yapıların çok büyük bir bölümü çelikten yapılmış olanlardır: bu yapıların denizin korozif etkisinden korunmalarında temelinde iki prensip yatmaktadır. Bunlardan birincisi metal yüzeyinin denizle ilişkisini yalıtkan bir kaplama yani "boya" ile kesmek; ikincisi işe metalin deniz içinde çözünmesini engelleyecek bir yöntem uygulamak yani onu katodik olarak korumaktır. Günümüzde her.iki tip koruma yöntemi daha çok birbirlerini tamamlayacak şekilde beraber kullanılmaktadır. Ancak özel koşullarda yalnız boyama ve*y*a yalnız katodik, korumanın mustakil uygulamaları da mevcuttur.

.

DENEYİN YAPILIŞI:

1. Deney Düzeneği:

1. Doğru akım güç kaynağı
2. Anot elektrot
3. Katot elektrot
4. Elektrolit

KOROZYON HÜCRESİ

2 Deneyde Adı Geçen Bazı Tanımlar:

Anot: Oksidasyon reaksiyonunun meydana geldiği elektrot. Diş devreden elektron akışı anottan katoda doğru olur.

Katot: Redüksiyon reaksiyonunun meydana geldiği elektrot. Tipik katot reaksiyonları,katyonların elektron alarak metal haline dönüşmesi, hidrojen çıkışı veya oksijenin indirgenerek hidroksil iyonu haline dönüşmesidir.

Elektrolit: İyon içeren bir çözelti veya karışım.

Korozyon Hızı: Birim zamanda korozyona uğrayan madde miktarı. Korozyon hızı değişik şekillerde ifade edilebilir-Birim yüzeyden kütle kaybı olarak g/(m2.yıl) Penetrasyon (korozyon derinliği) : mm/yıl (veya mpy) Anodik akım yoğunluğu olarak : A/cm^2

Oksidasyon: Elektron kaybı ile değerlik artışının meydana geldiği kimyasal reaksiyonlar.

Redüksiyon: Elektron alınarak değerliğin kaybedilmesi ile sonuçlanan reaksiyon. Katotda daima redüksiyon reaksiyonu meydana gelir. .

Anodik Reaksiyon: Metalden-çözeltiye pozitif yük transferini sağlayan elektrot reaksiyonu: Anodik reaksiyon sonucu metal iyon halinde çözeltiye geçer. :

Katodik Reaksiyon: Metalden elektrolite negatif yük transferini sağlayan kimyasal reaksiyon. Tipik katodik reaksiyonlar,asidik ortamlarda hidrojen çıkışı ve nötr ortamlarda çözünmüş oksijenin hidroksil haline dönüşme reaksiyonlarıdır. Soy Metal: Elektrot potansiyeli hidrojenden daha büyük olan metal. Bu metallerin standart elektrot potansiyelleri pozitiftir.

***A*nyon:** Negatif yüklü iyon. Elektrolite bir potansiyel farkı uygulandığında anyonlar anoda doğru hareket eder.

Katyon: Pozitif yüklü iyon. Elektrolite bir potansiyel farkı uygulandığında katyonlar katoda doğru hareket eder.

3. Deneyin Yapılışı:

Musluk suyu ve belirli oranlarda NaCl ilave edilmiş çözelti elektrolit olarak hazırlanır. Numuneler alkol ile temizlenir. Daha sonra hassas terazide tartılıp anot olarak bağlanır. Katoda bakır elektrot bağlanır. Daha sonra korozyon akımını hızlandırmak amacıyla uygulanan voltaj kademeli olarak değiştirilir ve her voltaja

karşılık gelen akım ölçülerek kaydedilir. Daha sonra numuneler etil alkol ile temizlenir ve kurutulur. Tekrar tartılarak ağırlık kaybı tespit edilir.

4. Deney Esnasında oluşan Reaksiyonlar:

Anodik Reaksiyon:

$$e^- \leftarrow (e^-.Me^+) \rightarrow Me^+ + n.H_2O$$

Katodik reaksiyon:

$$e^- + D^+ \rightarrow D.e^-$$

Toplam Reaksiyon:

$$Me + O_2 \rightarrow MeO_2$$

5. Deney Raporunun Hazırlanması:

Deney raporunun hazırlanmasında ek'te verilen taslak kullanılacaktır. Uyulması gereken kurallar ise aşağıdaki gibidir.

a. Deney raporu bilgisayarda hazırlanmalıdır.

b. Raporlar en geç bir sonraki hafta deney öncesinde teslim edilmelidir.

c. Punto, yazı tipi değiştirilerek hazırlanan ve kopya olduğu tespit edilen raporların hepsi geçersiz sayılır.

d. Rapor içerisinde deney föyünde bulunan bilgiler aynen yazılmayacaktır. Ancak ilgili görülen kısımlarda alıntı yapılabilir.

e. Deney raporu olabildiğince sade, akıcı bir dille ve oldukça kısa yazılmalı mümkünse toplam 2 sayfayı geçmemelidir.

DENEY 9: KAYNAK DENEYİ

PROF. DR. AYHAN ÇELİK **YER:** D9 (UYGULAMA: MERKEZ ATÖLYE)
DENEY SORUMLUSU: ARŞ GÖR. Ş.MERVE TÜZEMEN

1. DENEYİN AMACI

Öğrencilerin lisan eğitimleri süresi içerisinde, Makina Bilgisi, Atölye, İmal Usulleri başta olmak üzere değişik derslerde teorisini gördükleri ve zaman zaman laboratuvarda değişik yöntemleriyle tanıştıkları, Makina Mühendisliğinin en önemli bağlama elemanlarından biri olan kaynak işlemi konusunda, daha önce öğrendiklerini hatırlayarak, özellikle de modern kaynak yöntemlerinden MIG/MAG ve TIG kaynaklarında el becerilerini artırmaları sağlanacaktır.

2. GİRİŞ

Kaynak işlemini makroskopik ve mikroskopik anlamda olmak üzere iki şekilde tarif etmek mümkündür. Makroskopik olarak kaynak, iki veya daha çok malzemenin dışardan enerji vererek dolgu maddesi kullanarak veya kullanmadan sürekliliği sağlayacak şekilde birleştirme işlemidir. Mikroskopik anlamda kaynak, birleştirilecek parçaların atomlarının karşılıklı çekme bölgelerine getirilmesidir.

2.1. Kaynak İşleminin Sınıflandırılması

Kaynak işleminde gerekli enerji kaynak yerine pratikte ısı veya basınç veyahut da her ikisi birlikte verilir. Kaynak işlemini kaynak usulü bakımından; el ile, yarı mekanize, tam mekanize ve otamatik olarak sınıflandırmadır. Diğer bir sınıflandırma, enerjinin kaynak yerine veriliş şekline göre yapılmaktadır. Yani yapılan işlemin cinsine göre kaynak işlemleri iki gruba yarılır;

a) Ergitme kaynağı: Bu kaynak yönteminde kaynak yerine enerji, ısı enerjisi şeklinde verilir.
b) Basınç kaynağı: Bu yöntemde enerji, basınç veya ısı ve basınç birlikte kaynak yerine verilir. Bu iki grup altında da birçok kaynak tipleri toplanmaktadır. Pratikte en çok kullanılan kaynak tipi ergitme kaynağının bir parçası olan elektrik ark kaynağıdır. Burada kaynak işlemi için gerekli enerji kaynak makinaları sayesinde temin edilir. Bu iki gruba giren kaynak yöntemleri;

A) Ergitme kaynağı yöntemleri

1. Elektrik direnç ergitme kaynağı
2. Elektrik ark kaynağı

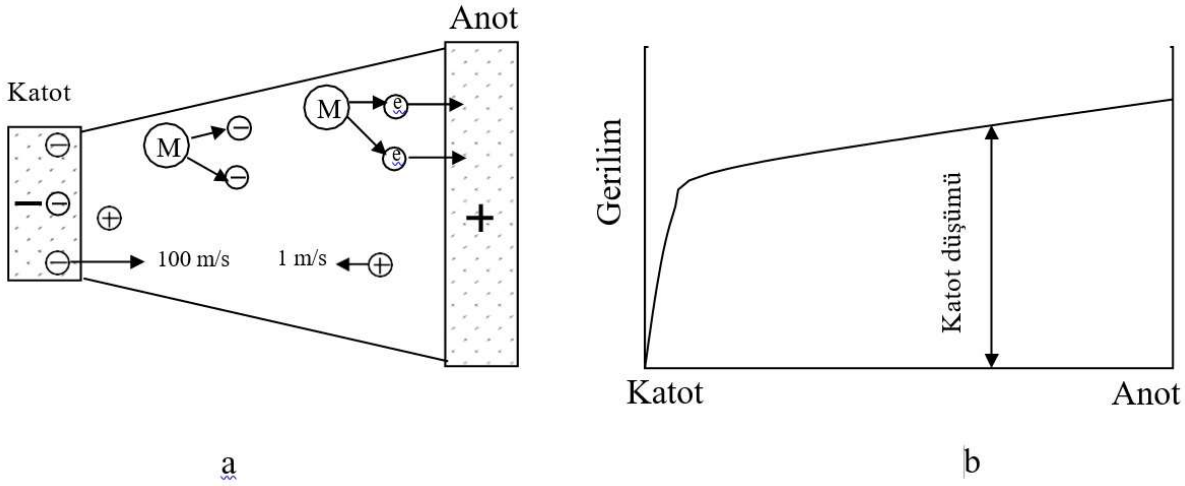
a) Karbon arkı ile kaynak
b) Metal arkı ile kaynak
c) Koruyucu gazla kaynak (Gazaltı Kaynağı)
   - TIG kaynağı
   - MIG/MAG kaynağı
d) Tozaltı kaynağı
e) Elektron bombardımanı ile kaynak
f) Lazer ışını ile kaynak

B) Basınç Kaynağı Usulleri

1) Ultrasonik kaynak
2) Sürtünme kaynağı
3) Elektrik direnç kaynağı

2.2 Elektrik Arkı

Bir gerilim kaynağı gaz içinde bulunan iki iletken plaka arasına bağlanırsa, belirli şartlar gerçekleştiği takdirde, bu iki plaka arasında bir elektrik boşalması olur ve bir elektrik akımı akar. Eğer bu akımın şiddeti 10 Amperden büyük ise elde edilen sistem elektrik arkı adını alır. Bir elektrik arkında artı kutba anot, eksi kutba katot adı verilir. Anot ile katot arasına tatbik edilen gerilim sonucu ortaya çıkan elektrik alanı etkisi ile elektronlar katottan anota doğru, iyonlar anottan katota doğru hareket ederler. Her gazda bulunan yük taşıyıcılar anot-katot arasındaki gerilim düşümünde kullanılırlar. Diğer gaz parçacıklarını da içine alan çarpışma işlemiyle moleküllerin disosasyonu yanında atom ve moleküllerin iyonizasyonu ve uyarılması da söz konusudur. Yani yük taşıyıcılar bu şekilde sürekli olarak üretilirler. Elektronlar anodik bağlantıya, pozitif iyonlar ise katodik bağlantılı iş parçasına hızlandırılırlar.



Şekil 1. Elektriksel boşalma (a) ve katot düşümü (b)

Anot önünde biriken elektronlar, anoda giden elektronlara bir direnç gösterir ve bu direnç nedeniyle o bölgede plazma bölgesine nazaran daha yüksek elektrik alanı oluşur. Zira aynı yükler birbirini iteceğinden anoda ulaşmak isteyen elektronlar, bulut içinden geçerken daha dolambaçlı yol izleyecekler ve aynı zamanda anot ve katot önünde biriken bu elektronların hızları düşecektir. İş parçası ile anot arasındaki gerilim düşümü lineer olmayıp iş parçası önünde çoğalan pozitif yük tarafından geniş ölçüde değiştirilebilir. Bunun sonucu olarak direnç o bölgede artar. Katot önünde de iyonlar için durum aynıdır. Bu farklılık elektrik arkını, elektrik alanı yönünden anot bölgesi, katot bölgesi ve plazma bölgesi olarak üç parçaya böler. Buna göre, uygulanan gerilimin hemen hemen tamamı katot önünde birkaç mm'lik mesafede düşer (Şekil 1.b).

2.3 Gazaltı Kaynak Yöntemleri

Kullanılan elektrot ve gazların cinslerine göre koruyucu gaz kaynak usullerini çeşitli sınıflara ayırmak mümkündür. Bugüne kadar pratikte kullanılan koruyucu gaz kaynak usullerini şu şekilde sınıflandırabiliriz;

B. Erimeyen elektrotla yapılan gazaltı kaynağı
    a. Erimeyen iki elektrotla yapılan gazaltı kaynak usulü (ark atom veya atomik hidrojen kaynağı)
C. Erimeyen bir elektrotla yapılan gazaltı kaynak usulü (TIG) Eriyen Elektrotla yapılan gazaltı kaynağı
    a. Soygaz atmosferi altında eriyen metal elektrotla yapılan gazaltı kaynak usulü(MIG)
    b. Karbondioksit atmosferi altında eriyen metal elektrotla yapılan gazaltı kaynak usulü(MAG)

2.4 Gazaltı Kaynak Yöntemlerinde Kullanılan Gazlar ve Özellikleri

2.4.1. Argon-Helyum Karışımları (TIG ve MIG)

Argon ve Helyum, asal gazlar olup kaynak işlemi sırasında kaynak banyosu ile reaksiyona girmezler. Bu gazlar alaşımsız, yalın karbonlu, paslanmaz çelik ve demir dışı metallerin kaynak işlemlerinde kullanılır. Bu iki gaz arasındaki temel farklar, yoğunluk, ısıl iletkenlik ve ark karakteristikleridir. Argon, havadan yaklaşık olarak 1.4 defa yoğundur, buna karşılık Helyum ise, havanın yoğunluğunun 0.14 katıdır. Helyuma ve havaya oranla daha yoğun olan Argon düz kaynak pozisyonlarında en etkili, ark sabitleyen ve örtücü etkisi olan gazdır. Helyum, tek başına kullanıldığı zaman aynı oranda koruma yapabilmesi için Argona oranla 2- 3 kat fazla debi gereklidir. Helyum, Argona oranla çok daha yüksek ısıl iletkenliğe sahiptir ve ark enerjisi çok daha homojen dağılımlı ark plazması oluşturur. Argon plazması ise, merkezde çok yüksek dış konisinde ise daha az enerjiye sahiptir. Bu fark, kaynak dikiş profilini güçlü bir şekilde etkiler. Helyum, kaynak sırasında daha derin ve geniş bir dikiş oluşturmaktadır.

Helyum, Argona göre daha yüksek bir iyonlaşma potansiyeli ve dolayısı ile daha yüksek ark voltajı oluşturur. Ancak saf Helyum, ark başlangıcında problem gösterebilir. Saf Helyumla oluşturulan Ark Örtüsü düşük voltajlarda Sprey Transfer etkisi göstermez. Bunun sonucu olarak, saf helyum, koruyucu gaz olarak kullanıldığı zaman Argona göre daha yüksek çapak ve pürüzlü kaynak dikişi elde edilir. Argon ise, akım geçiş sınırının üzerinde (Küresel-Sprey Ark) olduğu zaman Sprey Ark etkisi gösterir.

Saf Argon, çelik ve demir dışı malzemelerin kaynağında yaygın olarak kullanılmaktadır. Helyumun saf olarak kullanılması ise yukarıda anlatılan nedenlerden dolayı sınırlıdır. Ancak, daha derin ve daha geniş kaynak dikişi istendiği zaman, Argon ve Helyum belli oranlarda karışım oluşturularak kullanılırlar. Kısa devre geçişinde, Argon ve Helyum gazları, %60 -%90 Helyum oranına kadar çeşitli oranlarda karıştırılarak kullanılırlar. Argona %50 ve %75 oranında Helyum eklenmesi, saf Argonun oluşturduğu ark voltajından daha yüksek ark voltajı oluşturur. Bu karışımlar, Alüminyum, Magnezyum ve bakırın kaynağında kullanılırlar. Çünkü karışımın verdiği yüksek ısı, bu malzemelerin yüksek ısı iletkenliklerinden dolayı istenen ısı miktarını karşılar.

2.4.2 Karbondioksit

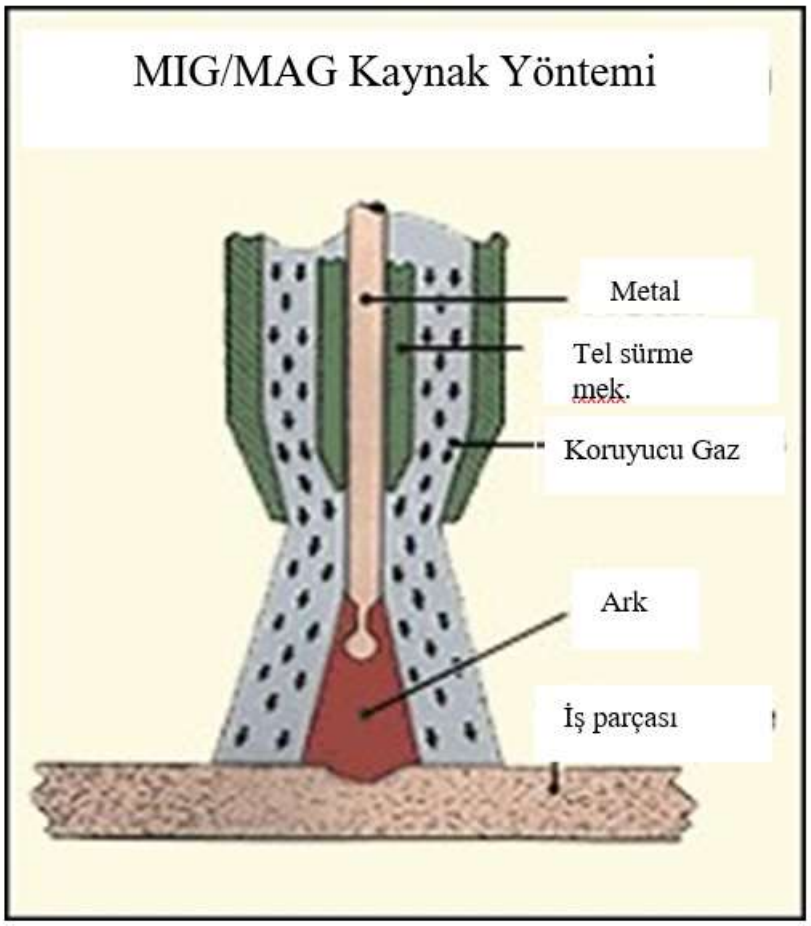
Karbondioksit, Gaz Metal Ark Kaynaklarında (MAG) kullanılan, reaktif ve oksitleyici bir gazdır ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynaklarında kullanılır. Saf olarak kullanılabilir. Yüksek nüfuziyet ve düşük fiyatı nedeni ile Karbondioksit yaygın olarak kullanılmaktadır. Karbondioksit gazı ile kısa devre ya da küresel geçiş sağlanabilir. Ancak Karbondioksit tek başına Sprey Ark Geçişi sağlayamaz. Küresel geçişte, ark oluşumu sert, yıpratıcı ve yüksek çapak oluşumu söz konusudur. Çapak oluşumunu azaltmak için, torcun ucu çalışma yüzeyinden bir miktar derine gömülmesi gereklidir. Eğer Argonca zengin bir karışımla Karbondioksit karşılaştırılırsa;

- Karbondioksit, daha yüksek nüfuziyet sağlar. Ancak kaynak dikişi yüzeyi son derece kaba bir görünüme sahip olur.
- Karbondioksit kaynağında yüksek metal yığma oranı elde edilir. Ancak gazın oksitleyici özelliklerinden dolayı, oluşan kaynak dikişinin mekanik özellikleri Argonca zengin karışıma oranla düşüktür.
- Yüksek çapak oluşumu nedeni ile düşük hız elde edilir.

2.5. MIG/MAG Kaynak Yöntemi

2.5.1 MIG Kaynağı

Bu yöntemde ark eriyen elektrot ile asal gaz ortamında elde edilir. Asal gaz olarak argon veya helyum ya da bunların karışımı kullanılır. Karışım kullanıldığında argon iyonize olur. Helyum ise koruyuculuk görevi yapar. Kullanılan elektrotların kalınlığı 0.8-2.4 mm arasındadır. Başlangıçta sabit bir tel hızı ile kaynak başlatılır. Telin üzeri bakır veya bronz kaplıdır. Bunun sebebi paslanmayı önlemek ve akım memesinden geçerken ark oluşumunu engellemektir. Yatay karakteristikli kaynak makinası kullanılmaktadır. Ark boyunun ayarı iç ayar yani □I ayarıdır. Akım şiddeti ve tel sürme mekanizmasını ayarlayan düğme aynıdır. Buradan hem ark boyu hemde akım şiddeti ayarlanabilmektedir. Bu yöntemin kullanım alanları; tüm çelik çeşitleri ve demirdışı metallerden Al, Cu, Ni ve alaşımları, ferritik martenzitik, Cr-Ni' li ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında, Mg ve alaşımlarının kaynağında kullanılmaktadır. Ayrıca MIG-MAG kaynağında akım ve gerilimin durumuna bağlı olarak kısa ark (düşük akım ve düşük gerilim kullanıldığında oluşan ark türüdür). Uzun ark (akım ve gerilimin daha yüksek tutulması durumunda elde edilen ark türüdür). Sprey ark (arkın iş parçasında duşlama şeklinde geçişine denir) genellikle argon ve argonca zengin koruyucu gaz ile yüksek akım ve yüksek gerilim kullanıldığında ortaya çıkar. Darbeli ark kullanılabilir.



Şekil 2. MIG/MAG kaynak yöntemi ark bölgesi

2.5.2 MAG Kaynağı

Bu yöntem MIG ile prensipte aynıdır. Asal gaz yerine aktif gaz (CO_2) kullanılır. Böylece kullanım alanları da değişir. Kullanım alanları olarak alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılır. CO_2 yüksek sıcaklık nedeniyle disose olur. Daha sonra üzerine aldığı

$2\ CO_2 \longrightarrow 2\ CO + O_2$

enerjiyi iş parçasına verip rekombine olur. Böylece iş parçasına yüksek enerji taşımış olur. Daha derin nüfuziyet elde edilir. Karbondioksit renksiz, kokusuz, havadan yaklaşık 1,5 kat daha ağır bir gazdır. Tüplere sıvı halde depo edilir. Kullanılırken gaz hale geçer ve buharlaşma enerjisini tüpün çıkışındaki ısıtıcıdan alır. Bu enerjiyi karşılamak ve karlanmayı önlemek için tüpün çıkışına ısıtıcı takılır.

$Fe + CO_2 \longrightarrow FeO + CO$

Bu reaksiyon ile oluşan FeO, Mn ve Si ile birleşerek bunların yanmasına sebep olur. Mn ve Si kaybını önlemek için kaynak teline daha fazla Mn ve Si ilave edilir. Bu nedenle çeliklerin kaynağında MIG de kullanılan teller MAG da kullanılmaz. MAG kaynağında kısa devre ateşlemesi kullanılmaktadır. Bu yöntemde kullanılan tellerin üzeri Cu veya bronz kaplıdır.

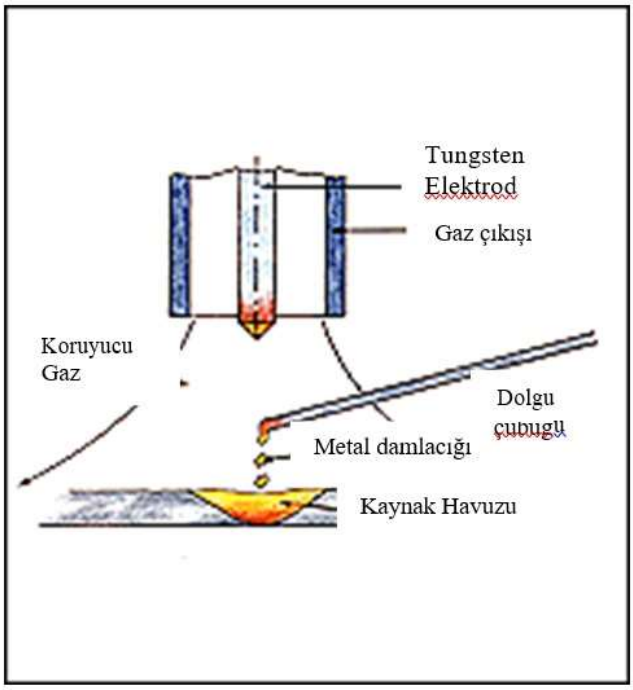
I ayarı yapılır.

$$C + CO_2 \longrightarrow 2\,CO$$
$$2\,CO \longrightarrow CO_2 + C$$

N_2 ve O_2 miktarları fazla olursa dikişin mekanik özellikleri düşer. Ark içindeki CO_2 disose ve rekombine olduğundan O_2 açığa çıkar ve ona afinitesi (ilgisi) fazla olan elementlerle birleşir. Bu yüzdende Al, Mg ve Cu ve alaşımlarının kaynağında MAG kullanılmaz. Ayrıca ayrışma sonucu ortaya çıkan O_2'nin bir kısmı çelikteki alaşım elementleriyle birleşerek yüzeyde çok ince bir Cüruf oluşturur. CO_2 kaynak metalinde Mn ve Si azalmasına, C miktarının artmasına sebep olduğundan paslanmaz çeliklerin kaynağında koruyucu gaz olarak kullanılmaz. MAG kaynağı MIG kaynağına göre daha ucuzdur, daha derin nüfuziyet sağlanır, ultraviyole ışını azdır, kaynak hızı fazladır ve tüpüne daha fazla gaz depo edilebilir. Bu yöntem ile birleştirme kaynağı yanında kaplama ve dolgu kaynağı da yapılabilir.

2.6 TIG Kaynak Yöntemi

Bu yöntemde üfleçte anot kaldırılmıştır, anot yerine iş parçası gelmiştir. Ark erimeyen tungsten elektrot ile iş parçası arasında asal gaz ortamında (korumasında) yanar. Bu gaz elektrodun çevresinde üfleçten çıkar ve elektrod ile kaynak yerine hava girmesini önler. Kullanılan asal gaz argon, helyum veya argon+helyum asal gazlarının özelliği son kabuklarının tamamen dolu olması nedeniyle elektron alış verişi yoktur. Yani metalik malzemelerle reaksiyona germezler. Argonun özelliği iyonizasyon enerjisinin düşük olmasıdır, ancak ısı iletim kabiliyeti zayıftır. Helyum ise ısıyı iyi ilettiğinden derin nüfuziyet istenen kalın parçaların kaynağında kullanılır, ancak helyumun yoğunluğunun havadan çok hafif olması çok fazla gaz sarfiyatına sebep olur. Bu yöntemde kullanılan akım hem DC hem de AC' dir. Havadan çabuk etkilenen malzemelerin kaynağı yapılırken (özellikle Al' un kaynağında) negatif kutup (katod) iş parçasına bağlanır ki malzeme yüzeyinde oluşan oksit tabakası elektronlar tarafından delinebilsin. Kullanılan kaynak makinası düşey karakteristiklidir. Ateşleme yüksek frekans jeneratörü ile yapılmaktadır. Dolgu teli bu yöntemde yandan verilmektedir. Dolgu teli ile malzemenin özelliklerinin aynı olması gerekmektedir. Bu metodun kullanıldığı yerler; tüm demir esaslı malzemelerin kaynağında, Al, Cu, Mg gibi havadan çabuk etkilenen malzemelerin kaynağında, Cr-Ni' li paslanmaz çeliklerin (ostenitik, ferritik, martenzitik, çift fazlı çelik, çökelme sertleşmeli çelik) kaynağında, titanyum, tantal, zirkonyum, magnezyum, kurşun, gümüş ve alaşımları kaynak edilebilir. Temiz iş istenen yerlerde, süt ve besin endüstrisinde, uzay ve havacılık endüstrisinde bu yöntem kullanılmaktadır.



Şekil 3. TIG kaynağı ark bölgesi

Bu yöntemin üstünlükleri,

Yüksek kaynak hızı sağlanması, verilen ısının belirli bir noktaya yoğunlaştırılması, ısıl distorsiyonların azlığı, mekanik özelliklerin iyi bir şekilde korunması, temiz kaynak dikişlerinin elde edilmesi, kaynaktan sonra

kaynak bölgesinin temizlenmesine gerek olmaması, kolay bir şekilde mekanize edilmesi gibi üstünlüklere sahiptir.

3. DENEYDE KULLANILAN CİHAZLAR

1) MIG/MAG kaynak makinası: Deneylerde kullanılan kaynak makinası yatay karakteristikli, □I ayarı yapılan, el ile kaynak yapılan kaynak makinasıdır.
2) TIG kaynak makinası: Düşey karakteristikli, HF ateşlemeli, □U ayarı yapılan, saf argon kullanılan ve elektrot olarak saf tungsten elektrot kullanılan kaynak makinasıdır.

4. DENEYİN YAPILIŞI

- Az karbonlu çelik bir malzemeden hazırlanmış lamalar boyuna kaynak edilecek
- Kaynaklı parçalar havada ve suda soğutulacak
- İçyapı ve kaynak yüzeyi mikroskop altında incelenecek

5. DENEY RAPORUNUN HAZIRLANMASI

a.) GİRİŞ : Kaynak hakkında kısaca genel bilgi verildikten sonra özellikle gaz altı kaynakları kısaca bilgi verilir.
b.) DENEYSEL ÇALIŞMA : Deneyde yapılan işlemler ayrıntılı olarak yazılır.
c.) SONUÇLAR : Deneyin amacı ve yapılan işlemler kısaca yorumlanmalı
d.) DEĞERLENDİRME : Deney öncesi yazılı yada sözlü sınav yapılır. Vize notu bu sınavın ve öğrencinin deney esnasındaki performansına göre verilir.

6. DENEYLE İLGİLİ SORULAR

1. Kaynağın tanımını yaparak kaynak yöntemlerini sınıflandırınız.
2. Elektrik arkının oluşumunu tarif ederek kısaca hakkında bilgi veriniz.
3. Gazaltı kaynak yöntemlerini sınıflandırınız.
4. MAG kaynak yöntemi hakkında kısaca bilgi veriniz.
5. MIG kaynak yöntemi hakkında kısaca bilgi veriniz.
6. TIG kaynak yöntemi hakkında kısaca bilgi veriniz.
7. MIG – MAG kaynak yöntemlerini karşılaştırınız.
8. MIG – TIG kaynak yöntemlerini karşılaştırınız.
9. TIG – MAG kaynak yöntemlerini karşılaştırınız.
10. Gazaltı kaynağında kullanılan gazlar ve karışımları hakkında karşılaştırmalı olarak bilgi veriniz.
11. Alüminyum ve magnezyumu MAG kaynağı ile kaynak edebilirmiyiz? Niçin?
12. Argon ve helyumu hangi durumlarda birbirine tercih ederiz? Niçin?
13. Paslanmaz çeliklerin kaynağında niçin MAG kaynağı tercih edilmez?

DENEY 10: DOĞAL VE ZORLANMIŞ TAŞINIM DENEYİ

PROF. DR. İSAK KOTÇİOĞLU **YER:** AKIŞKANLAR LABORATUVARI
DENEY SORUMLUSU: ARŞ. GÖR. ONUR KÜÇÜKKURT

---

1. GİRİŞ

Isı, sıcaklık farkı sonucu bir sistemden diğerine transfer olan bir enerji türüdür. Isı; iletim, taşınım ve ışınım olmak üzere üç farklı yolla aktarılabilir. Isı transferinde genellikle taşınım ana mekanizma olarak ön plana çıkar ve taşınımla ısı geçişi, Newton'un Soğuma Kanunu ile ifade edilir.

$Q = h\ A\ (T_y - T_\infty)$

Bu denklemde;

Q : Taşınımla transfer edilen ısı miktarı (W) h
: Isı taşınım katsayısı ($W/m^2°C$)
A : Isının transfer edildiği alan (m^2)
T_y : Yüzey sıcaklığı (°C)
T_∞ :Akışkan sıcaklığı (°C) dır.

Isı taşınımı, akışkanın hareket şekline göre doğal ve zorlanmış taşınım olarak iki grupta incelenmektedir. Akışkanın hareketi dışarıdan bir enerji verilmesiyle (akışkan hareketi bir fan, pompa vb. yardımıyla) sağlanıyorsa ısı taşınımı, zorlanmış ısı taşınımı adını alır. Eğer akışkanın hareketi (bir ısıtıcıyla temas eden havanın yükselmesi vb.) sıcaklık farkından dolayı değişen yoğunluk vasıtasıyla meydana geliyorsa taşınım, doğal taşınım adını alır.

2. DENEYİN AMACI

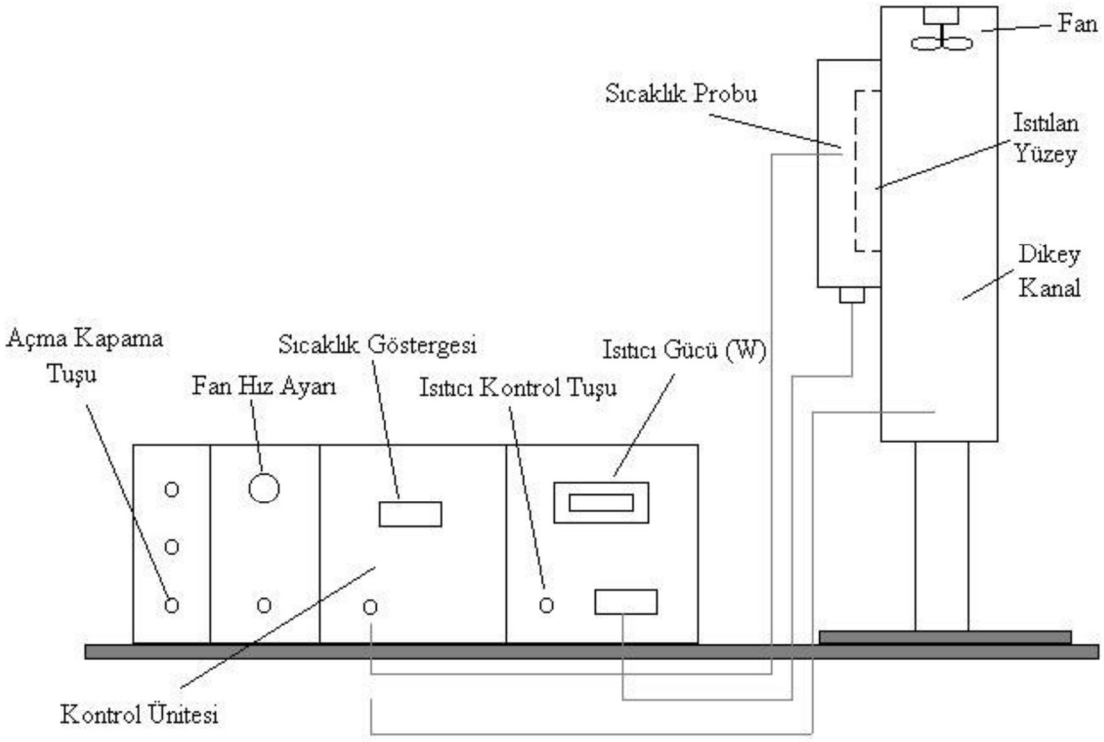
Bu deneyin temel amaçları; doğal ve zorlanmış taşınım arasındaki ayrımın uygulamalı olarak anlatılması, ısı geçişinin iyileştirilmesinde kanatçıkların etkisinin gösterilmesi ve kanatçıklar boyunca sıcaklık dağılımının incelenmesidir.

3. DENEY DÜZENEĞİ

Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 1' de fotoğrafı ise Şekil 2' de paylaşılmıştır. Doğal ve zorlanmış taşınım deney düzeneği temel olarak düşey dikdörtgen kesitli bir kanal ile üzerinde akışkanın hızını, sıcaklığını ve ısıtıcıya verilecek olan ısı miktarının kontrol edilebildiği düğmeler, göstergeler ve devreler barındıran bir kontrol ünitesinden oluşmaktadır.

Kanal içerisine yerleştirilen kanatçıklı elemanlar(ısı kuyuları) ısıtılarak kanal içindeki hava ile yüzey arasında taşınımla ısı transferinin meydana gelmesi sağlanır. Bu taşınım yoğunluk değişiminden kaynaklanıyorsa doğal taşınım olarak adlandırılmaktadır. Kanalın en üst kısmına yerleştirilmiş olan bir fan,

akışkanın hareket etmesini sağlayarak zorlanmış taşınım deneylerinin yapılabilmesine imkan sağlamaktadır. Bu fan tarafından oluşturulan havanın hızı ve sıcaklığı bir termal anemometre ile ölçülmektedir.



ŞEKİL 1. Deney Düzeneğinin Şematik Görünümü



ŞEKİL 2. Deney Düzeneği

4. DENEYLER

Doğal ve zorlanmış taşınım deney düzeneğinde gerçekleştirilecek deneyler için ortak olarak izlenen adımlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

I. Deneylerde kullanılacak olan ısıtıcı(yapılmak istenen deneye göre kanatçıklı veya kanatçıksız olarak) kanal üzerindeki ilgili bölüme yerleştirilir.
II. Kontrol ünitesi ve kanal üzerindeki tüm bağlantılar(güç kabloları, sıcaklık ve hız ölçüm probları) gerçekleştirildikten sonra deney düzeneği şebeke elektriğine bağlanır.
III. Kontrol ünitesi üzerindeki açma kapama anahtarı on konumuna getirilerek düzeneğe elektrik sağlanır.
IV. Sıcaklık probu ile çevre havası sıcaklığı(T_∞) ölçülür.
V. Doğal taşınım deneyleri için hız değerinin 0 m/s olduğundan emin olunur.
VI. Isıtıcı gücü 70-80 Watt arasında bir değere ayarlanır. Sıcaklık 80 °C olduktan sonra güç değeri deneyin gerçekleştirilmek istendiği güce ayarlanır(10 Watt, 20 Watt gibi). Bunu yapmaktaki amaç kararlı hale gelme süresini kısaltmaktır.
VII. Sistem kararlı hale geldikten sonra ısıtılan levha yüzey sıcaklığı(taban sıcaklığı) okunur ve kaydedilir.
VIII. Zorlanmış taşınım deneyleri için ise anemometre ile akışkanın hızı kontrol edilerek, kontrol ünitesi üzerinden fan hız ayarı istenen değere getirilir ve yukarıdaki işlemler tekrar edilir.

4.1. Yüzeyden Isı Geçişini Artırmak İçin Kanatçıkların Kullanımı

Bir cisimden transfer edilen ısı miktarı, akışkan ile temas eden yüzeyin artırılması ile artırılabilir. Birçok uygulama için tüm cismin boyutunu artırmak çoğunlukla mümkün değildir. Bunun için akılcı bir çözüm olarak cismin akışkan ile temas eden yüzeyine kanatçıklar eklemek suretiyle ısı transfer yüzeyi artırılabilir. Bunun tipik örneğini hava soğutmalı motorlarda ve çeşitli ısı eşanjörü uygulamalarında görmek mümkündür. Kanatçıkların ısı transferine etkisinin ne olacağı aynı şartlarda kanatçıksız düzlem yüzeylerle kendi aralarında yapılacak olan mukayese ile görülebilir veya farklı geometrik şekildeki kanatçıkların kullanımıyla farklı kanat geometrilerinin ısı transferine etkileri görülebilir. Aşağıda sunulan iki deneyden birinin gerçekleştirilmesi, yüzeylerden ısı geçişini artırmak için kanatçık kullanımının etkisini göstermek için yeterli olacaktır.

Deneyin Yapılışı

Yukarıda verilen ortak işlem adımları uygulanır.

1. Deney: Kanatçıklı durumun kanatçıksız durum ile kıyaslanması

Deneyler önce kanatçıksız durum(Yalnızca ısıtıcının olduğu boş kanal) için daha sonra düzlem kanatçıklar için gerçekleştirilebilir. Sonuçlar aynı grafik üzerinde çizdirilerek karşılaştırılır. Doğal taşınım deneylerinde farklı ısıtıcı güç değerleri için ölçümler alınırken zorlanmış taşınım deneylerinde 20 Watt sabit olarak ölçümlerin alınması yeterli olarak görülmüştür.

2. Deney: Plakalı kanatçıkların silindirik kanatçıklarla kıyaslanması

Deneyler önce düz plakalı kanatçıklara, sonrasında ise silindirik kanatçıklara sahip ısı kuyuları için gerçekleştirilebilir. Sonuçlar aynı grafik üzerinde çizdirilerek karşılaştırılır. Doğal taşınım deneylerinde farklı ısıtıcı güç değerleri için ölçümler alınırken zorlanmış taşınım deneylerinde 20 Watt sabit olarak ölçümlerin alınması yeterli olarak görülmüştür.

Sonuçlar

Tablo 1. ……. kanatçıklı levhadan doğal taşınım deneyi ölçümleri

	Taban Sıcaklığı	Ortam Sıcaklığı
Isıtıcı Gücü (Watt)	T_y(x=0)	T_∞
5		
10		
20		

Tablo 2. ……. kanatçıklı levhadan zorlanmış taşınım deneyi ölçümleri

	Taban Sıcaklığı	Ortam Sıcaklığı
Hava Hızı V, m/s	T_y(x=0)	T_∞

0.5		
1		
2		

Raporda İstenenler

- Doğal taşınım deneylerinde, Güç girdisi (Q, Watt) – Sıcaklık Farkı ($T_y - T_\infty$) grafiği çizilmelidir.
- Zorlanmış taşınım deneylerinde, Hız (V) – Sıcaklık Farkı ($T_y - T_\infty$) grafiği çizilmelidir.
- Grafik farklı kanatçık durumları ile doğal ve zorlanmış taşınım için ayrı ayrı yorumlanmalıdır.

4.2. Artırılmış Yüzeyler Boyunca Sıcaklık Dağılımının Saptanması

Deneylerde kullanılan kanatçıkların %100 verimli olması için tüm yüzey sıcaklıklarının ısıtıcı ile temas halindeki arka levhada(ısı kuyusunun tabanında) ölçülen sıcaklık ile aynı olması gerekir. Pratikte böyle bir durum elde edilemez ve kanat boyunca bir sıcaklık gradyanı oluşur. Bu deneyde bir kanatçık üzerinde tabandan uzaklıkları x_1=8mm, x_2=35 mm ve x_3= 60 mm olan üç noktadan sıcaklık ölçümü alınarak kanatçık boyunca olan sıcaklık dağılımı elde edilecektir.

Deneyin Yapılışı

Ortak işlem adımlarına ilave olarak levha yüzey sıcaklığının okunduğu aşamada kanatçık üzerinde üretici tarafından belirlenmiş noktalarda(8, 35 ve 60 mm) sıcaklık değerleri okunur ve kaydedilir. Deneyler önce düz plakalı kanatçıklar daha sonra silindirik kanatçıklar için gerçekleştirilir.

Sonuçlar

Çevre hava sıcaklığı (T_∞) =……°K

En yakın deliğin levhaya(tabana) uzaklığı = 8 mm

Orta deliğin levhaya(tabana) uzaklığı = 35 mm

En uzak deliğin levhaya(tabana) uzaklığı = 60 mm

Tablo 3. ……. kanatçıklı levhadan doğal taşınım deneyi ölçümleri

	Yüzeylerden Ölçülen Sıcaklıklar(°K)				Ortam Sıcaklığı(°K)
Isıtıcı Gücü (Watt)	T_y(x=0)	T_1(x_1=8mm)	T_2(x_2=35mm)	T_3(x_3=60mm)	T_∞
5					
10					

20					

Zorlanmış taşınım deneyi için Isıtıcı güç değeri =20 Watt

Tablo 4. ……. kanatçıklı levhadan zorlanmış taşınım deneyi ölçümleri

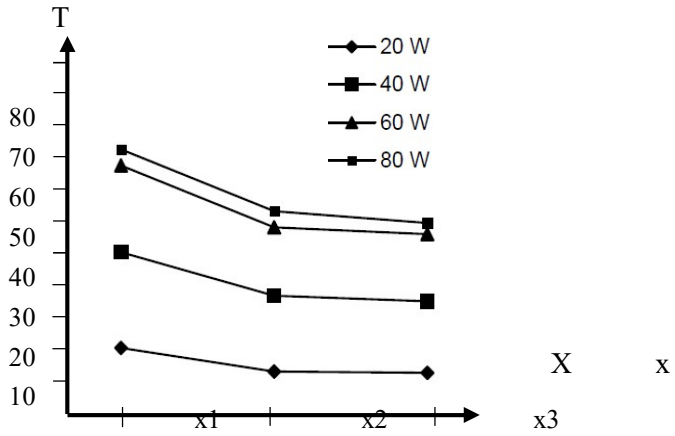
	Yüzeylerden Ölçülen Sıcaklıklar(°K)				Ortam Sıcaklığı(°K)
Hava Hızı V m/s	T_y(x=0)	T_1(x_1=8mm)	T_2(x_2=35mm)	T_3(x_3=60mm)	T_∞
0.5					
1					
2					

Raporda İstenenler

- Her iki taşınım türü için de Yüzey Sıcaklığı (T) - Tabandan uzaklık (x) grafiği çizilmelidir.
- Doğal taşınım deneylerinde, Güç girdisi (Q, Watt) – Sıcaklık Farkı ($T_y - T_\infty$) grafiği çizilmelidir.
- Zorlanmış taşınım deneylerinde, Hız (V) – Sıcaklık Farkı ($T_y - T_\infty$) grafiği çizilmelidir.
- Tüm grafikler yorumlanmalıdır.

NOT: Aşağıda rastgele değerlerle çizdirilmiş örnek bir grafik görülmektedir. Tüm grafikler uygun şekilde isimlendirilmelidir. Çizgilerin hangi ölçüme ait olduğu belirgin şekilde görülebilmelidir.

Örnek grafik düzeni



Şekil X. ……. Kanatçıklı ısı kuyusunda doğal taşınım için Yüzey sıcaklığı (T) - Tabandan uzaklık (x) grafiği