

**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**MAKİNA LABORATUVARI 2
DENEY FÖYLERİ**

**2025–2026 Bahar Yarıyılı
4. Sınıf**

**© Makina Mühendisliği Bölümü Başkanlığı
Mart 2026, Kırıkkale**

ÖNSÖZ

Makina Laboratuvarı Dersi, mühendislik fakülteleri öğrencileri için, lisans öğrenimleri süresince görmüş oldukları derslerin bir uygulaması olduğundan büyük bir öneme sahip olup bu yönüyle de diğer derslerden ayrılmaktadır. Bu nedenle, diğer derslerde öğrenilen konuların özümseenebilmesi, laboratuvar derslerine verilen önemle mümkün olacaktır. Bütün deneylere girilmesi, deney raporlarının irdelenerek kapsamlı bir şekilde hazırlanması, daha önce teorik olarak incelenmiş olan birçok konunun daha iyi anlaşılmasına büyük katkı sağlayacaktır.

Öğrencilerimizin laboratuvar derslerine daha donanımlı bir şekilde katılımlarını sağlamak ve deney föylerini temin etmek için her deneyden önce zaman harcamalarının önüne geçmek, bu kitapçıkların hazırlanmasında temel hareket noktası olmuştur. Bununla birlikte, bütün deney föylerinin bir arada bulunması, öğrencilerimizin mesleki yaşamlarında başvurabilecekleri bir kaynak oluşturması açısından da önemlidir.

Hazırlanan bu kitapçığın tüm öğrencilerimize yararlı olmasını temenni ederken, kitapçıkların hazırlanmasında asıl katkı sahipleri olan bölümümüz öğretim elemanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Mart 2026, Kırıkkale

Prof. Dr. Osman BİCAN
Makina Mühendisliği Bölüm Başkanı

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	3
1.1 Dersin Amacı ve Kapsamı	3
1.2 Deneysel Çalışmaların Temelleri / Önemi	3
1.2.1 Deneysel Hatalar ve Hata Analiz Yöntemleri	3
1.2.2 Belirsizlik Analizi Yöntemi.....	4
1.3 Ders ile İlgili Genel Düzenlemeler	4
1.3.1 Ders ile İlgili Genel Hususlar	5
1.3.2 Deney Raporu Hazırlanışı	5
1.4 Deney Uygulama Tarihleri	5
1.5 Ek Açıklamalar	6
2. DENEY FÖYLERİ	7
2.1. BİLGİSAYAR DESTEKLİ İMALAT 2 DENEYİ	8
2.2. STATİK VE DİNAMİK Dengeleme Deneyi	11
2.3. EKLEMELİ İMALAT 2 DENEYİ	24
2.4. GÜNEŞ ENERJİSİ DENEYİ	29
2.5. IŞINIMLA ISI GEÇİŞİ DENEYİ	42
2.6.İKLİMLENDİRME DENEYİ	48
2.7. SERİ/PARALEL SANTRİFÜJ POMPA DENEYİ	64
2.8. BASMA DENEYİ	82
2.9. EMİSYON ÖLÇÜM DENEYİ	78

1. GİRİŞ

Makina Laboratuvarı dersi, mühendislik fakülteleri öğrencileri için, lisans öğrenimleri süresince görmüş oldukları derslerin bir uygulaması olduğundan büyük bir öneme sahip olup bu yönüyle de diğer derslerden ayrılmaktadır. Bu nedenle, diğer derslerde öğrenilen konuların daha iyi kavranabilmesi, laboratuvar derslerine verilen önemle mümkün olacaktır. Bütün deneylere girilmesi, deney raporlarının irdelenerek kapsamlı bir şekilde hazırlanması, daha önce teorik olarak incelenmiş birçok konunun daha iyi anlaşılmasına büyük katkı sağlayacaktır.

1.1 Dersin Amacı ve Kapsamı

Makina Laboratuvarı dersi bir uygulama dersi olup, öğrencilerin lisans öğrenimi süresince derslerde teorik olarak gördükleri birçok kanunun geçerliliğinin deneylerle gösterilmesi amacına yöneliktir. Bu uygulama dersi kapsamında yapılacak deneylerle; Malzeme dersinden Termodinamik dersine, Mukavemet dersinden Isı Transferi dersine kadar birçok dersin temel prensiplerinin izahına çalışılacaktır. Bu yönüyle, bir anlamda lisans öğreniminin özetlendiği bir ders işlevi görmekte olup konuların pekiştirilebilmesi için bir fırsat sağlamaktadır.

1.2 DeneySEL Çalışmaların Temelleri / Önemi

DeneySEL çalışmaların, derslerde teorik olarak işlenen konuların özömsenebilmesinde büyük bir etken olduğu hususu açıktır. Ancak bu amaca ulaşılabilmesi için; deneylerin büyük bir titizlikle ve sabırla yapılmış olması, deneylerde kullanılacak cihazların mutlaka kalibre edilmiş olmaları, deneylerin yeteri kadar sayıda tekrar edilmiş olması, deney tesisatı sürekli rejim şartlarına ulaştıktan sonra ölçümlerin alınmış olması gibi birçok şartın yerine getirilmesi gerekir. Ancak, bütün bu şartlar yerine getirilse bile, bütün deneySEL çalışmalar yine de hatalar içerir. DeneySEL çalışmalarda meydana gelen çeşitli hatalar ve bu hataların analizi aşağıda özetle açıklanmıştır.

1.2.1 DeneySEL Hatalar ve Hata Analiz Yöntemleri

DeneySEL çalışmaların tümü, çeşitli nedenlerden dolayı hata içerir. DeneySEL çalışmalarda yapılan bu hatalar genellikle üç grupta toplanabilir. Bunlardan birincisi, deney yapan araştırmacının dikkatsizlik ve tecrübesizliğinden ileri gelen hatalardır. Deney tesisatlarında kullanılan ölçme cihazlarının yanlış seçiminden veya ölçme sistemlerinin yanlış tasarımından kaynaklanan hatalar bu grup içinde düşünülebilir. İkinci grup hatalar, sabit veya sistematik

hatalar olarak adlandırılan hatalardır. Bunlar genellikle tekrar edilen okumalarda görülen ve nedenleri çoğunlukla tespit edilemeyen hatalardır. Üçüncü grup hatalar ise rastgele hatalardır. Bunlar ise; deneyi yapan kişilerin değişmesinden, deneyi yapanların dikkatlerinin zamanla azalmasından, elektrik geriliminin değişmesinden, ölçme aletlerindeki histerizis olaylarından veya cihazların ısınması nedeniyle elektronik ölçme aletlerinde oluşan salınımlardan kaynaklanabilmektedir [1].

Deneyisel sonuçların geçerliliğinin belirlenmesi için mutlaka bir hata analizi yapmak gerekmektedir. Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan parametrelere ait sabit hata miktarlarının (veya oranlarının) tespiti için pratikte birkaç yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler içerisinde, belirsizlik analizi (uncertainty analysis) ve akılcı yaklaşım (commonsense basis) yöntemleri en çok kullanılanlarıdır [1].

1.2.2 Belirsizlik Analizi Yöntemi

Herhangi bir deney tesisatı aracılığı ile tespit edilmesi/hesaplanması gereken büyüklük R , bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler ise; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olsun. Bu durumda;

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1)$$

yazılabilir. Deneylerde etkili olan her bir bağımsız değişkene ait sabit hata değerleri; $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ve R büyüklüğünün sabit hata değeri w_R ise, belirsizlik analizi yöntemine göre;

$$w_R = \pm \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

şeklinde verilmektedir.

1.3 Ders ile İlgili Genel Düzenlemeler

Mühendislik fakülteleri öğrencileri için, lisans öğrenimleri süresince görmüş oldukları derslerin bir uygulaması olan laboratuvar dersinin amacına ulaşabilmesi için, aşağıda yer alan genel hususlara uyulması ve deney raporu hazırlamaya gereken önemin verilmesi kaçınılmazdır. Buna göre aşağıdaki düzenlemelere uyulması gerekmektedir.

1.3.1 Ders ile İlgili Genel Hususlar

Dersin daha etkin olabilmesi için aşağıdaki kurallara uyulması gerekmektedir. Buna göre;

- 1) Deneylere gelmeden önce ilgili deney föyü detaylı olarak incelenecektir.
- 2) Deney föyü yanında olmayan öğrenci **kesinlikle deneye alınmayacaktır.**
- 3) Her öğrenci kendi grubu ile deneylere girecektir.
- 4) Öğrenci, deneylerin % 80'ine katılmak ve bu deneylere ait raporların tamamını teslim etmek zorundadır. Ancak; deney raporlarına ilişkin not ortalaması, toplam deney sayısı dikkate alınarak hesaplanacaktır.
- 5) Deney raporlarında, bu kitapçıkta Ek-1'de gösterilen kapak sayfası kullanılacaktır.
- 6) Deney raporları, ilgili deneyde yapılan ölçümlerin yer aldığı tabloyu da içerecektir.
- 7) Deney raporları, bilgisayar ortamında hazırlanabildiği gibi el yazısı ile de yazılabilir ve raporun kapak sayfası hariç, kâğıtların her iki tarafı da kullanılacaktır.
- 8) Deney raporları, deneyin yapıldığı tarihten itibaren **en geç 1 hafta içinde** teslim edilecektir. Geç rapor teslimi kesinlikle bir seçenek değildir. Geç teslim edilen raporlar değerlendirilmeye alınmayacaktır.
- 9) Deney raporları, bizzat öğrenci tarafından ilgili uygulama sorumlusuna teslim edilecektir.
- 10) Dönem sonlarında "Telafi Deneyi" **yapılMAyacaktır.**

1.3.2 Deney Raporu Hazırlanışı

- 1) Deney raporlarında, bu kitapçıkta Ek-1'de gösterilen kapak sayfası kullanılacaktır.
- 2) Deney raporunda istenilen format hakkında her bir uygulama sorumlusu Öğretim Elemanı tarafından sizlere bilgi verilecektir.

1.4 Deney Uygulama Tarihleri

Deneyler saat 09:00 'da A100 sınıfında bir saatlik teorik eğitim ile başlayacak sonrasında öğrenciler gruplar halinde uygulama laboratuvarlarına gideceklerdir. Deney tarihleri Tablo 1.1'de gösterilmiştir. **Herkes uygulama deneylerine kendi grubu ile girecektir.**

Tablo 1.1 Deney Listesi ve İlgili Öğretim Elemanları

MAKİNE LABORATUVARI 2 DENEY PROGRAMI						
Sıra No	Deneyin Adı	Deney Sorumlusu	Uygulama Sorumlusu	Gün		Deney Saati
1	Bilgisayar Destekli İmalat- 2 Deneyi	Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ER	Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ER	29.04.2026	11. Hafta	09:00- 10:00 Teorik 10:00- 12:00- Uygulama
2	Statik ve Dinamik Dengeleme Deneyi	Dr. Öğr. Üyesi Fatih CELLEK	Dr. Öğr. Üyesi Fatih CELLEK	11.03.2026	4. Hafta	09:00- 10:00 Teorik 10:00- 12:00- Uygulama
3	Ekleme İmalat 2 Deneyi	Dr. Öğr. Üyesi Yunus KARTAL	Dr. Öğr. Üyesi Yunus KARTAL	15.04.2026	9. Hafta	09:00- 10:00 Teorik 10:00- 12:00- Uygulama
4	Güneş Enerjisi Deneyi	Dr. Öğr. Üyesi Ömer RESULOĞLU	Dr. Öğr. Üyesi Ömer RESULOĞLU	6.05.2026	12. Hafta	09:00- 10:00 Teorik 10:00- 12:00- Uygulama
5	Işırlama Isı Geçiş Deneyi	Doç. Dr. Z. Onur PEHLİVANLI	Arş. Gör. Bahadır GEMİCİOĞLU	1.04.2026	6. Hafta	09:00- 10:00 Teorik 10:00- 12:00- Uygulama
6	İklimlendirme Deneyi	Dr. Öğr. Üyesi Hüsamettin TAN	Dr. Öğr. Üyesi Hüsamettin TAN	25.03.2026	5. Hafta	09:00- 10:00 Teorik 10:00- 12:00- Uygulama
7	Seri/ Paralel Santrifüj Pompa Deneyi	Doç. Dr. Tolga DEMİRCAN	Arş. Gör. Bahadır GEMİCİOĞLU	4.03.2026	3. Hafta	09:00- 10:00 Teorik 10:00- 12:00- Uygulama
8	Basma Deneyi	Dr. Öğr. Üyesi Türker AKKOYUNLU	Dr. Öğr. Üyesi Türker AKKOYUNLU	8.04.2026	7. Hafta	09:00- 10:00 Teorik 10:00- 12:00- Uygulama
9	Emisyon Ölçüm Deneyi	Doç. Dr. Emrah KANTAROĞLU	Doç. Dr. Emrah KANTAROĞLU	22.04.2026	10. Hafta	09:00- 10:00 Teorik 10:00- 12:00- Uygulama

1.5 Ek Açıklamalar

1. Dersten devam alınabilmesi için; deneylerin %80'ine katılım olması ve katılım olan deneyler için geçerli deney raporunun teslim edilmesi gerekmektedir. Ortalama rapor notu, toplam deney sayısı üzerinden hesaplanır.
2. Ders kapsamında vize, final veya bütünleme sınavı yapılmayacaktır. Bu yüzden dersi alttan alan öğrencilerin de her hafta deney föyü vermesi gerekmektedir.
3. Ders ile ilgili diğer düzenlemeler için, Deney Föyleri kitapçığının “1.3 Ders ile İlgili Genel Düzenlemeler” bölümünü gözden geçiriniz.

Kaynaklar

[1] Genceli, O. F., “Ölçme Tekniği”, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 2000

[2] Holman, J. P., “Experimental Methods for Engineers” *McGraw-Hill Book Company*, 7nd Edition, New York, 2001

2. DENEY FÖYLERİ

2.1. BİLGİSAYAR DESTEKLİ İMALAT 2 DENEYİ

1. DENEY İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Deneyin Adı

Bilgisayar Kontrollü Dik İşleme Merkezi Tezgâhında Parça Üretiminde Kullanılmak Üzere Bilgisayar Destekli İmalat Programında Üretim Simülasyonu ve Parça Programı Oluşturma.

Deneyin Amacı ve Kapsamı

Bilgisayar Destekli İmalat hakkında genel bilgi edindirme. Bilgisayar Destekli İmalat Programında prizmatik bir parçanın üretimi için stok parça, işlem, kesici, geometri vb. tanımlama, üretilecek parçaya ait simülasyonu oluşturma, işleme değişkenlerinin işleme zamanına etkisi incelenmektedir.

2. DENEYİN YAPILIŞI

Verilen parçayı işlemek üzere:

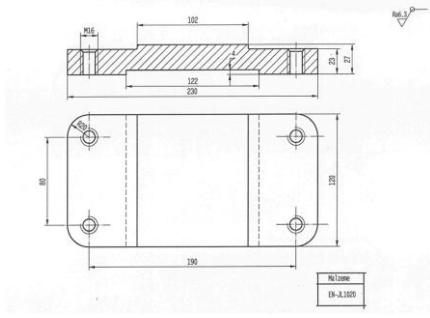
- Operasyon formu oluşturulur.
- Fusion CAM ortamında stok parça, işlem, kesici, geometri vb. tanımlama, üretilecek parçaya ait simülasyonu oluşturulur, izlenir ve işleme zamanları görüntülenir. Sonuçta hesaplanan bilgilerle simülasyondan alınan çıktılar karşılaştırılır.

3. YAPILACAK İŞLEMLER

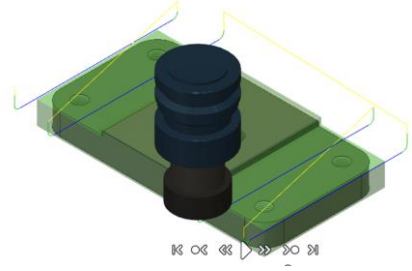
1. Verilen parçanın işlenmesi için gerekli operasyon formu oluşturulacak.
2. Operasyon formuna göre stok parça, işlemler, kesiciler, işlenecek yüzeyler vb. Fusion CAM programında tanımlanacak. Simülasyon gerçekleştirilecek, işleme zamanları alınacak, CLDATA ve post processor oluşturulacak.
3. Her öğrenci veya her grup için ayrı ayrı parçalara ait izometrik perspektifler verilecek, ve bu parçalar için operasyon formu oluşturulması ve Fusion CAM ortamında imalat simülasyonu oluşturulması istenecektir. Öğrenciye veya gruba ait parçanın yapım resmi, ilgili kutuya çizilecek ve WPC noktası yapım resmi üzerinde gösterilecek.
4. Simülasyonun bulduğu işleme zamanı tabloya işlenecek, öğrenci tarafından bulunan değerlerle karşılaştırılacak. Fark varsa nedeni tartışılacak.
5. Deneyi gerçekleştirilen yüzey frezeleme ve delik delme işlemleri için zaman ve güç hesaplamalarını rapor föyüne yapılacaktır.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

- Verilen parçanın işlenmesi için gerekli operasyon formunu oluşturunuz.
- Yapım resmini Fusion yardımıyla oluşturup operasyon formuna ekleyiniz (a).
- İşleme ait simülasyonu Fusion CAM İmalat veya Manufacture üzerinden alıp operasyon formuna ekleyiniz (b).



(a).



(b).

	OPERASYON FORMU		Katalog Adı-Yılı:			
			Parça Adı:			
Tezgah:		Stok Parça Ölçüleri:		Malzeme:		
Yapım Resmi		Simülasyona ait ekran görüntüsü				
İşlem adı	İşlenecek ölçüler	Kesici -Kater Kodu(i)- Kesici Uç Kodu(ii)-Kesici Kalitesi(iii)	vc (m/dak)	f (mm/dev)	t (dak)	Güç (kW)
1	ap: ae: l:	i. ii. iii.	Sayfa Sayfa Sayfa	Sayfa Sayfa		
2	ap: ae: l:	i. ii. iii.	Sayfa Sayfa Sayfa	Sayfa Sayfa		
3	ap: ae: l:	i. ii. iii.	Sayfa Sayfa Sayfa	Sayfa Sayfa		

Zaman Hesabı (___İşlem)		Güç Hesabı (___İşlem)
Ad-Soyad	Numara	

2.2. STATİK VE DİNAMİK DENGELEME DENEYİ

1. GİRİŞ

Dengeleme: İstenmeyen eylemsizlik kuvvetlerinin yok edilmesi ya da en aza indirilmesini sağlayacak düzenlemelerin yapılmasıdır. Dengelenmemiş makine parçaları yüksek atalet kuvvetlerine sebep olur ve bu parçalar tehlikeli sarsıntılar meydana getirirler. Dönen uzuvlardaki dönme kuvvetleri tekrar eden yükler oluşturur. Bu yükler de zamanla makine parçalarında, özellikle yataklarda zamanla yorulmaya ve kalıcı hasara sebep olurlar.

Sallama ya da sarsma kuvvetleri yok edilmediği ya da en aza indirilmediği takdirde, makineyi destekleyen temelleri sarsacak, sallayacak ve genliği tehlikeli olabilecek boyutlara varabilecek titreşimler yaratacaktır. Bu titreşimlerin ise istenmeyen pek çok etkileri vardır. Bunlardan birisi makine parçaları üzerinde değişken gerilmelere neden olarak yorulma olayına yol açmalarıdır. Bu ise makinenin kullanım ömrünü azaltacak ve onu ekonomik olmaktan çıkaracaktır. Ayrıca kullanıcılar üzerinde makineyi işletme güçlükleri oluşturacak ve makinenin işlevini tam yerine getirmesini engelleyecektir. Gürültü de yine istenmeyen etkileri arasındadır.

2. DENEYİN AMACI

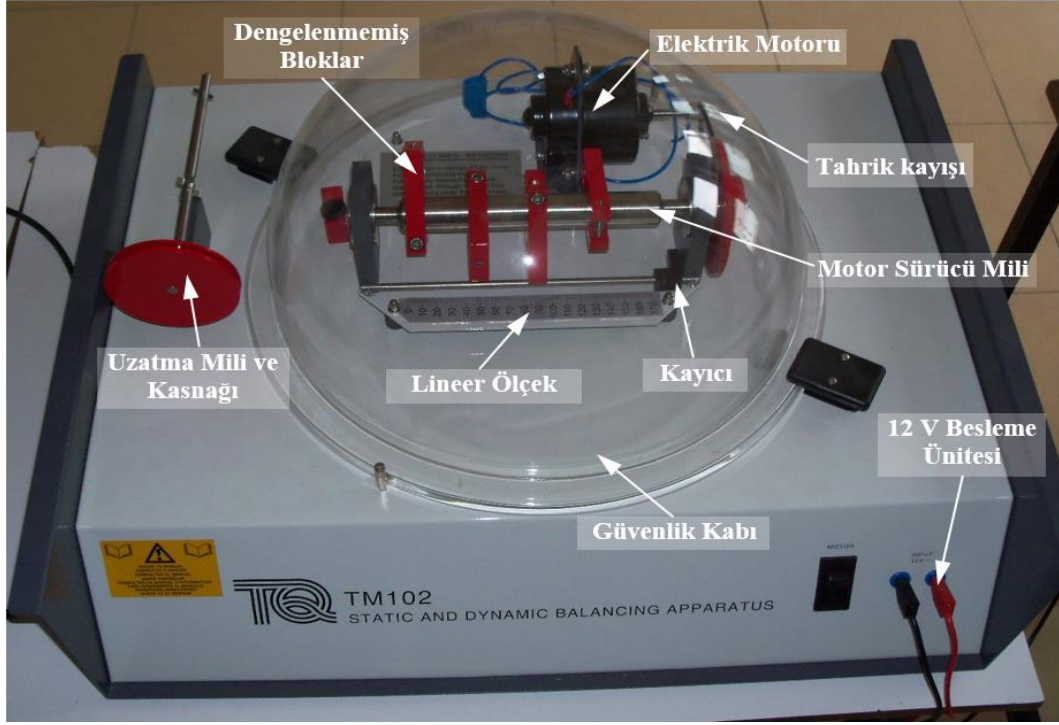
Çalışma esnasında dönen millerin kesinlikle dengelenmesi gerekmektedir. Aksi halde en ufak bir dengesizlik milin darbeleri çalışmasına ve tahmin edilenden önce kırılmasına sebep olacaktır. Bunu önlemek için de daha tasarım aşamasındayken makinelerin dengelerini sağlamamız gerekmektedir.

Örneğin, eğer bir arabanın ön tekerleğinde az bir dengesizlik varsa, bu direksiyonda bir titreşim olarak hissedilebilir. Bununla beraber, tekerlekteki dengesizlik, aracın kontrolünü zorlaştırabilir. Özellikle, titreşim frekansı sistemin herhangi bir doğal frekansı ile çakıştığında ve tekerlek rulmanları ve süspansiyon sisteminde hızlı bir aşınma oluşabilir. Bu problemler, küçük bir kütle tekerlek jantının üzerine dikkatli bir şekilde tespit edilen noktalara yerleştirilerek önlenabilir.

Dengelemenin amacı makine parçalarında statik ve dinamik anlamda dengesizlik miktarının belirlenmesi ve bunun düzeltilmesi için gerekli yöntemlerin ortaya konmasıdır.

3. DENEY DÜZENEGİ

Deney düzeneği iki ucundan yataklanmış bir mil ve mil üzerine yerleştirilmiş 4 adet kütleden oluşmaktadır. Her kütlenin ağırlığı birbirinden farklı olup, kütlelerin açısall konumları mile bağlı bir açı göstergesi aracılığıyla belirlenmektedir. Mil bir kayış aracılığıyla bir motor tarafından döndürülmekte ve milde dinamik denge olmadığı zaman yatak tepkileri milin üzerine konumlandığı platform üzerinde titreşim ve sarsıntı meydana getirmektedir.



Şekil 1. Deney Düzeneği

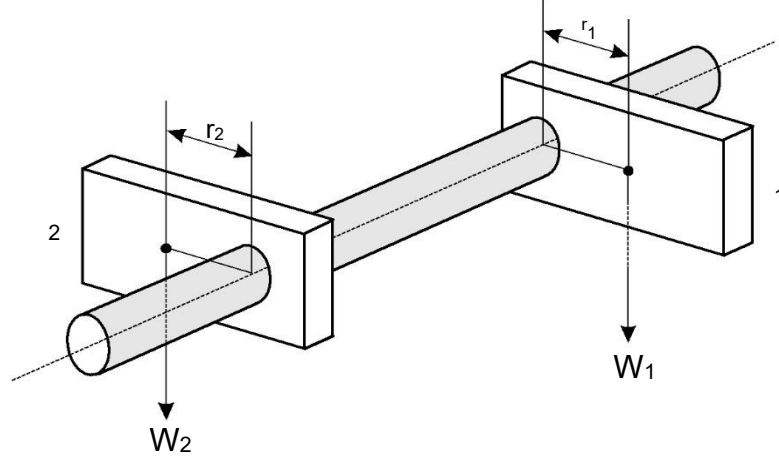
Yüksek hızda dönen millerin titreşime sebep olmaması için, dikkatli bir şekilde dengelenmeleri gerekir. Eğer şaft sadece dengesizliğe sahipse ve düşük hızda dönüyorsa, titreşimler sadece bir sıkıntıya sebep olabilir. Fakat yüksek hızlarda dengesizlik küçük olsa bile yıkıcı etkiler oluşabilir.

4. TEORİ

Eğer mil statik olarak dengelenmiş ise herhangi bir açısall pozisyonda dönmeden kalabilir. Eğer mil dinamik olarak dengelenmiş ise, otomatik olarak statik denge altındadır, fakat bunun tersi doğru değildir.

4.1. Statik Denge

Statik dengesizlik halinde, sistemin ağırlık merkezi bir çevrimdeki en alçak noktaya gelinceye kadar mil, ağırlık merkezinin mil ekseninden olan uzaklığıyla doğru orantılı bir döndürme momenti altında dönecektir.



Şekil 2. Basit iki kütleli sistem

Şekil 2 üzerine iki kütle monte edilmiş basit bir durumu göstermektedir. Eğer mil statik dengede ise, mili saat yönünde dönmeye zorlayan (1) nolu kütlenin ağırlığı sebebiyle oluşan döndürme momenti, mili saatin tersi yönünde dönmeye zorlayan (2) nolu kütleyle eşit olmalıdır.

Bu durumda statik denge;

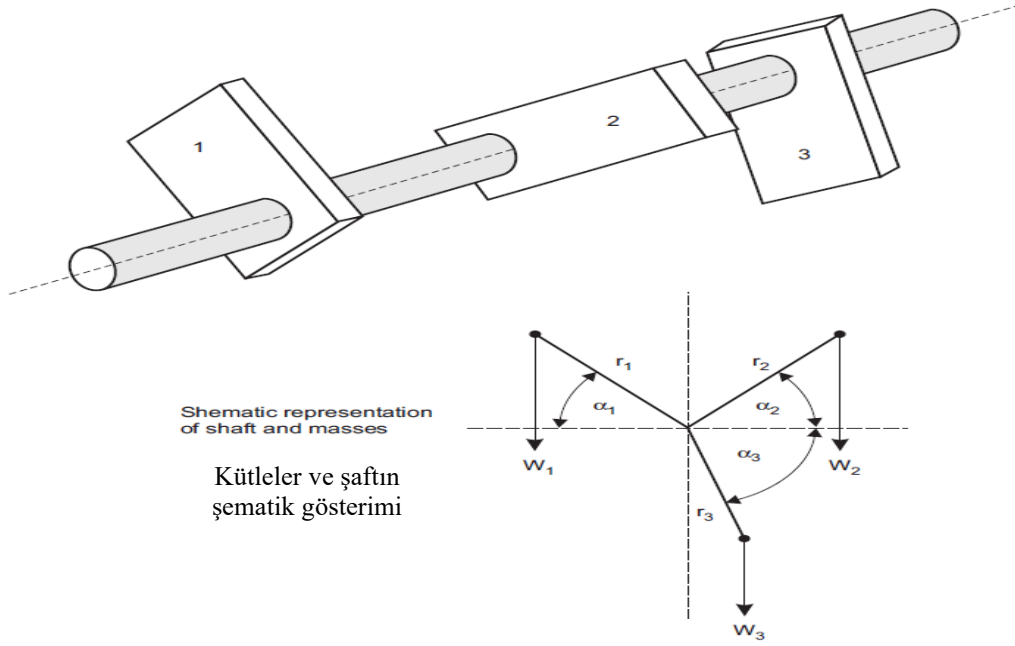
$$W_1 \cdot r_1 = W_2 \cdot r_2 \quad (1)$$

Şekil 3 'te gösterildiği gibi eğer mil üzerine monte ikiden fazla kütle varsa aynı prensip yine geçerlidir. Statik denge için;

$$W_1 \cdot r_1 \cdot \cos \alpha_1 = W_2 \cdot r_2 \cdot \cos \alpha_2 + W_3 \cdot r_3 \cdot \cos \alpha_3 \quad (2)$$

Tablo 1: Kütlelerin dengesizliği yüzünden oluşan momentlerin şaftı döndürme eğilimi

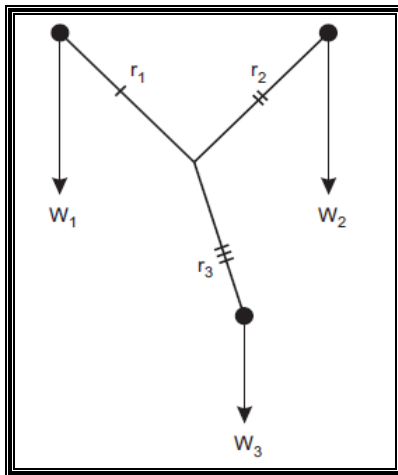
Kütle No	Moment	Yön
1	$W_1 \cdot r_1 \cdot \cos \alpha_1$	Saat yönü tersi
2	$W_2 \cdot r_2 \cdot \cos \alpha_2$	Saat yönü
3	$W_3 \cdot r_3 \cdot \cos \alpha_3$	Saat yönü



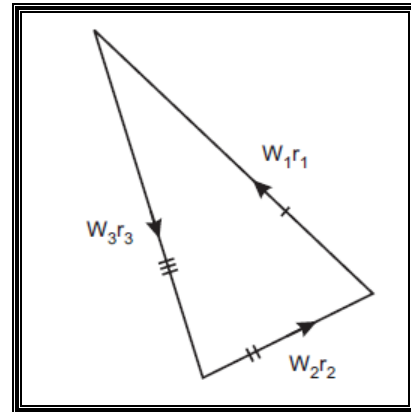
Şekil 3. Üç Kütleli Sistem ve şematik gösterimi

Eğer iki kütleli açılal pozisyonu sabitlenmişse, üçüncünün pozisyonu ya trigonometrik olarak ya da çizim yöntemi ile bulunabilir. Çizim yönteminde Şekil 4.b’de gösterildiği gibi momentlerin vektörlerle gösterilebileceği fikri kullanılır.

Statik dengenin sağlanabilmesi için, moment üçgeni kapalı olmalı ve bilinmeyen momentin yönü buna göre seçilmelidir. Eğer üçten fazla kütle varsa momentler Şekil 5.b’de gösterildiği gibi kapalı bir poligon olmalıdır.

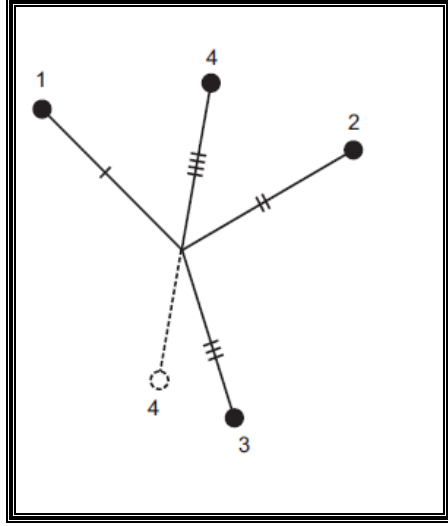


a) Üç kütleli sistem

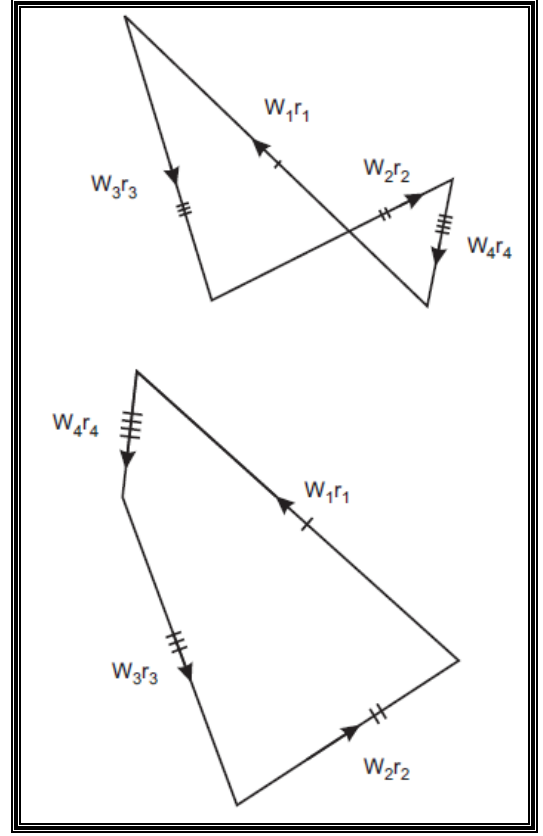


b) Üç kütleli sistem için moment üçgeni

Şekil 4. 3 kütleli sistemlerin statik denge konumu için moment poligonları



a) Dört kütleli sistem



b) 4 kütle için Moment Poligon örnekleri

Şekil 5. 4 kütleli sistemlerin statik denge konumu için moment poligonları

4.2. Dinamik Denge

Mil dönerken kütleler merkezkaç kuvvetlerine maruz kalır. Mil dönerken titreşime neden olmaması için iki koşulun yerine getirilmesi gerekir;

- a) Mili eğilmeye zorlayan dengesiz bir merkezkaç kuvveti olmamalıdır.
- b) Mili burulmaya zorlayan dengesiz bir moment veya moment çifti olmamalıdır.

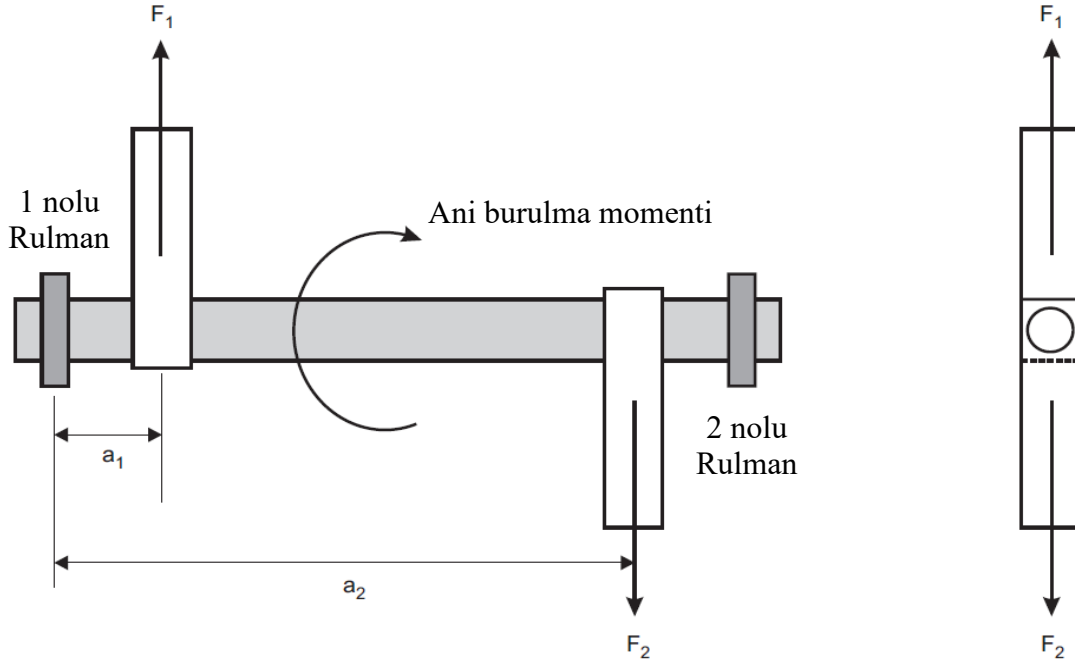
Bu şartlar yerine getirilmediği takdirde, mil dinamik olarak dengede değildir (Şekil 6.).

(a) şartını Şekil 6'da gösterilen milin üzerindeki her iki kütleyle etkileyen merkezkaç kuvveti için uygularsak;

$$F_1 = F_2 \quad (3)$$

Merkezkaç kuvveti $mr\omega^2$ veya $\frac{W}{g}r\omega^2$ ise

$$\text{Bu durumda} \quad \frac{W_1}{g}r_1\omega^2 = \frac{W_2}{g}r_2\omega^2 \quad (4)$$



Şekil 6. İki kütleli sistem için dinamik dengesizlik hali

Her bir kütle için açısal dönme hızı aynı olduğu için dinamik denge için;

$$(5) \quad W_1 \cdot r_1 = W_2 \cdot r_2$$

Elde edilen bu eşitlik, (1) deki eşitliğin aynısıdır. Sonuç olarak bir sistem dinamik olarak dengede ise statik olarak da dengededir.

İkinci koşul (b), seçilen bir noktaya göre örneğin 1 nolu rulmana göre moment alınarak sağlanabilir;

$$(6) \quad a_1 \cdot F_1 = a_2 \cdot F_2$$

Fakat (3) nolu denklemin sağlanabilmesi için ($F_1 = F_2$) $a_1 = a_2$ olmalıdır. Böylece bu durum için dinamik denge, sadece kütleler mil boyunca aynı noktaya bağlandığında sağlanabilir.

4.2.1. Üç Kütlenin Dinamik Olarak Dengelenmesi

Şekil 7’de gösterilen durumu ele alalım; 3 nolu kütle kolaylık sağlamak için düşey olarak yerleştirilir. Dinamik denge için ise Şekil 8’de gösterilen durum hem yatay hem de dikey düzlemlerdeki merkezkaç kuvvetleri için momentler eşitlenerek matematiksel olarak ifade edilebilir. Denklemleri basitleştirmek için, 1 nolu kütle ile ilgili momentleri çekmek daha uygundur. Böylece bu kütle üzerine gelen kuvvet nedeniyle oluşan momentler ortadan kalkmış olur.

Yatay yöndeki moment;

$$\sum M_x = 0 \Rightarrow a_2 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha_2 = 0 \quad (7)$$

Düşey yöndeki moment;

$$\sum M_y = 0 \Rightarrow a_2 \cdot F_2 \cdot \sin \alpha_2 = a_3 \cdot F_3 \quad (8)$$

(7) nolu denklem için bu koşullar $a_2 = 0$ ya da $\alpha_2 = 90^\circ$ yada $\alpha_2 = 270^\circ$ olduğunda sağlanır.

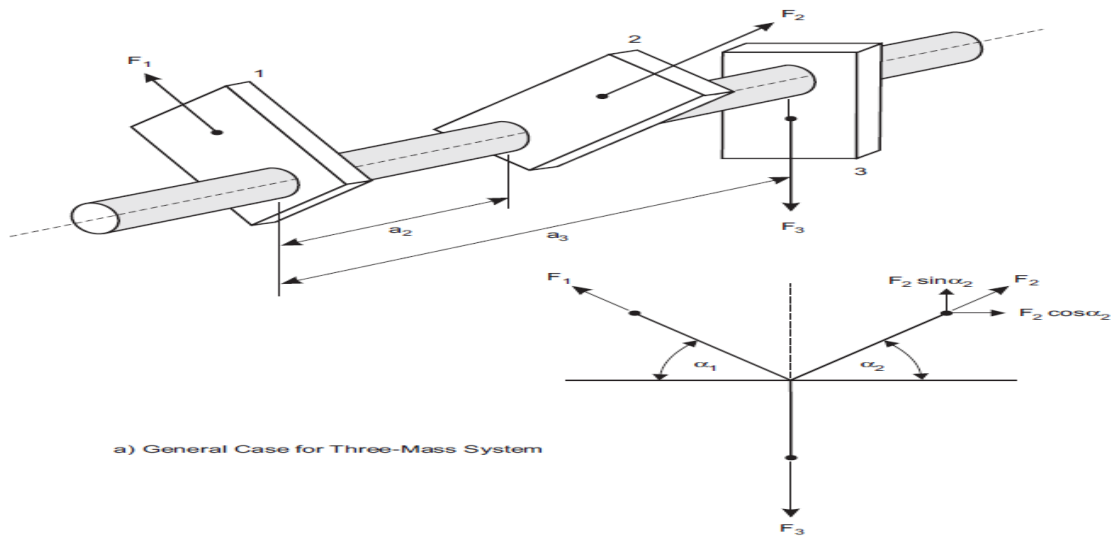
Bu değerler 8 nolu denklemde yerine yazılırsa;

(a) $\alpha_2 = 0$

Bu koşul için $a_3 = 0$ olur. Böylece a_2 ve a_3 keyfi değerleri için üç kütlenin de mil boyunca aynı noktada yer alması gerekir. Yani;

(b) $\alpha_2 = 90^\circ$ yada 270°

Bu koşullar için, çözümler elde etmek için daha fazla denklem yazmak gereklidir.



Şekil 7. Üç kütleli sistem (mil ve kütleler)

Dinamik denge için toplam kuvvet dengesi koşulu uygulanırsa;
Yatay yöndeki kuvvet;

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_1 \cdot \cos \alpha_1 = F_2 \cdot \cos \alpha_2 \quad (9)$$

Düşey yöndeki kuvvet;

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_3 = F_1 \cdot \sin \alpha_1 + F_2 \cdot \sin \alpha_2 \quad (10)$$

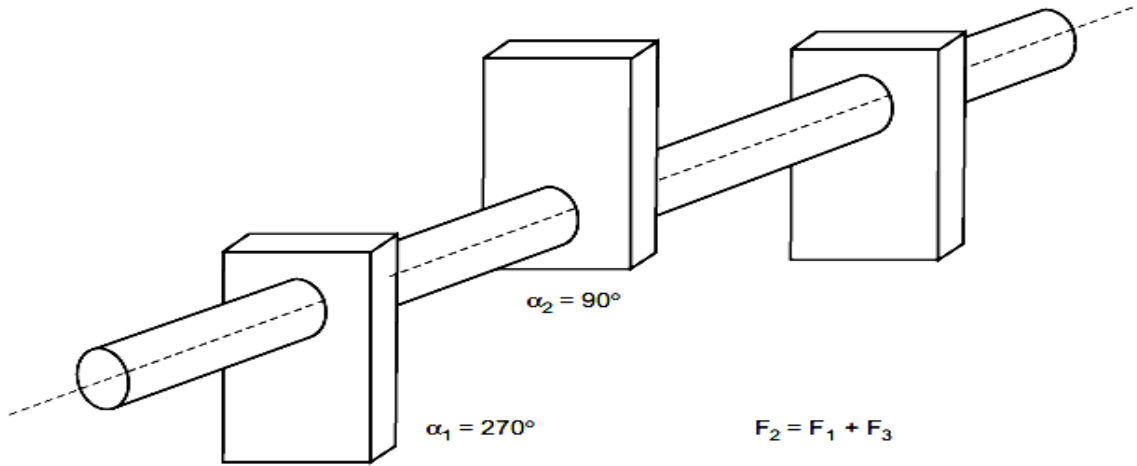
Eğer $\alpha_2 = 90^\circ$ ise (9) nolu denklem de $\alpha_1 = 90^\circ$ yada 270° olur. O zaman (10) nolu eşitlik;

$$F_3 = F_1 + F_2 \text{ olur.}$$

Hem de $a_2 \cdot F_2 = a_3 \cdot F_3$ şeklini alır. Bu iki eşitlikten F_1 çekilirse;

$$F_1 = F_3 \left(1 - \frac{a_3}{a_2} \right) \quad (11)$$

Eğer Şekil 7 'deki gibi $a_2 < a_3$ ise Şekil 8 deki gibi F_1 negatif yönde ve $\alpha_1 = 270^\circ$ olmalıdır. Dinamik denge için kütlelerin konfigürasyonu Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Üç kütleli sistem için dinamik denge durumu

Böylece, kütleler eğer mil boyunca dağıtılsa, aşağıdaki koşulların dinamik bir denge için sağlanması gerekir;

(a) Merkez kütlelin diğer iki kütleyle arasındaki açı 180° olmalı

(b) Kütleler öyle bir seçilmeli ki;

$$F_2 = F_1 + F_3 \quad (12)$$

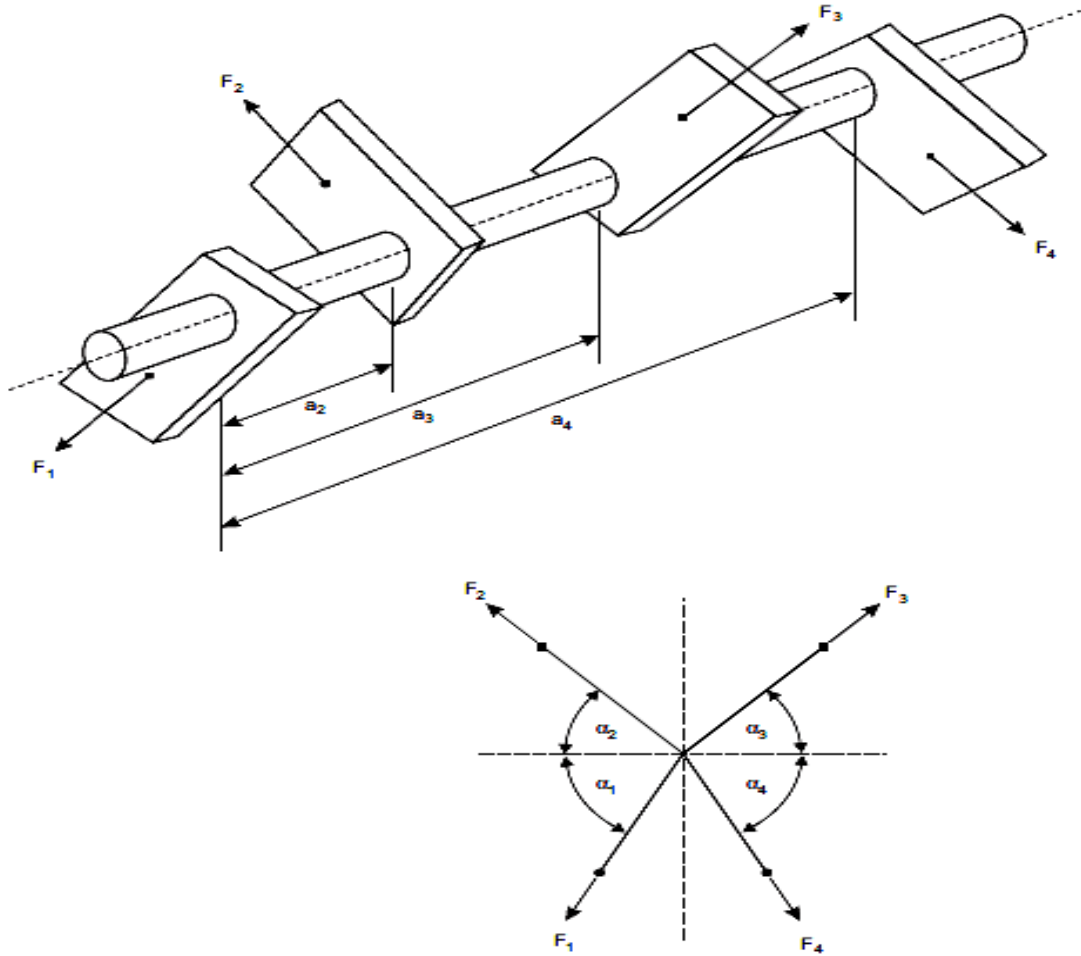
(c) Kütleler mil boyunca

$$a_2 \cdot F_2 = a_3 \cdot F_3 \quad (13)$$

şeklinde dağıtılmalıdır.

1.2.2 Üç Kütleden Fazla Kütle Olması Durumunda Dinamik Dengeleme

Mil üzerinde 4 kütle varsa, kütlelerin mil üzerindeki konumları ve açısal pozisyonları için geçerli olan özel kısıtlamalar yoktur ve çözümleri elde etmek için dinamik denge için genel koşullar uygulanmalıdır. Kütlelerin açısal konumları statik denge şartından, ayrıca dinamik dengenin ilk şartından hesaplanarak bulunabilir. Bu işlemler hesaplama yoluyla yapılabilir gibi Şekil 9’da görüldüğü gibi çizim yöntemiyle de yapılabilir.



Şekil 9. Dört kütleli sistem(Mil ve kütleler)

Burulma momentleri yatay düzlemler mil burulma eğilimi bileşenleri içine çözümlenir. Milin dinamik dengeli olması ise her düzlemde net momentin sıfır olması ile olur. Denklemleri basitleştirmek için, 1 nolu kütle ile ilgili momentleri çekmek daha uygundur. Böylece bu kütle üzerine gelen kuvvet nedeniyle oluşan momentler ortadan kalkmış olur. Şekil 9 a göre dört kütle sistemi için moment denklemleri:

(1) nolu kütleye göre Yatay yöndeki moment;

$$\sum M_x = 0 \Rightarrow -a_2.F_2.\cos\alpha_2 + a_3.F_3.\cos\alpha_3 + a_4.F_4.\cos\alpha_4 = 0 \quad (14)$$

(1) nolu kütleye göre Düşey yöndeki moment;

$$\sum M_y = 0 \Rightarrow a_2.F_2.\sin\alpha_2 + a_3.F_3.\sin\alpha_3 - a_4.F_4.\sin\alpha_4 = 0 \quad (15)$$

şeklinde yazılabilir.

5. DENEYİN YAPILIŞI

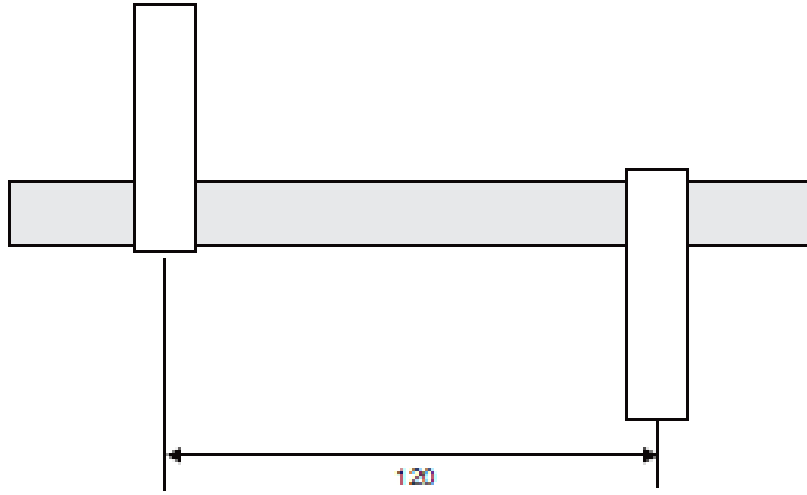
Deneyin yapılışı için aşamalar şunlardır;

Statik Denge ve Dinamik Dengesizlik Gösterisi

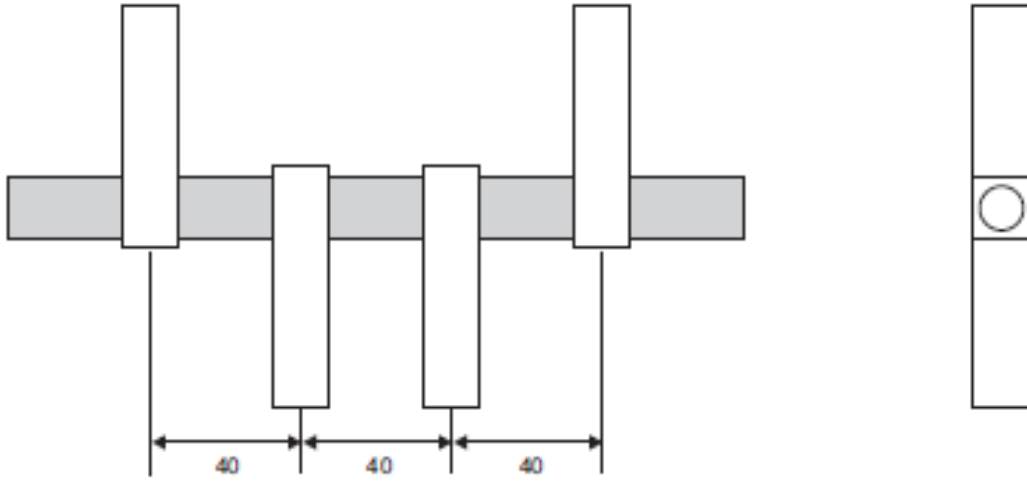
1. Emniyet kapağını ve mil kayışını çıkarınız.
2. Dikdörtgen bloklardan diskleri çıkarınız.
3. İki dikdörtgen bloğu Şekil 10.a'daki şekilde milin üzerine yerleştiriniz.
4. Milin herhangi bir açısal pozisyonu için statik olarak dengede kaldığını gözlemleyiniz.
5. TM102 aparatını 12 VDC besleme için cihazına bağlayın. Sonra şaft-kayışını takın ve emniyet kapağını kapatın.
6. Motoru çalıştırıp mildeki dinamik dengesizliği gözleyin.

4 Kütle Kullanılarak Milin Dinamik olarak Dengelenmesi

1. Emniyet kapağını çıkarıp, 4 adet dikdörtgen bloğu Şekil 10.b'deki şekilde milin üzerine yerleştiriniz.
2. Milin statik olarak dengede olduğunu test edin.
3. Deney sistemini 12 VDC besleme için cihazına bağlayın. Sonra şaft-kayışını takın ve emniyet kapağını kapatın.
4. Motoru çalıştırıp mildeki dinamik dengesizliği gözleyin.



a) İki kütleli sistem için statik denge



b) Dört kütleli sistem için statik ve dinamik denge

Şekil 10. Statik ve dinamik denge gösterileri için konfigürasyonlar

***W.r* Değerlerinin Deneysel Olarak Hesaplanması**

1. Emniyet kapağını ve mil kayışını çıkarınız.
2. Uzatma makarasını motor tarafından tahrik edilen milin ucundaki makaraya ekleyiniz.
3. Deney aletini masanın kenarına getirip, ağırlık kutusunun kordonunu uzatma makarasının üzerine birkaç tur dolayınız.

Tam ölçü skalasından 0° yi okuyacak şekilde (1) nolu dikdörtgen bloğu mile yerleştirerek sabitleyiniz.

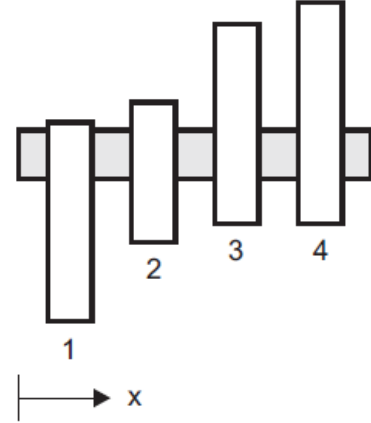
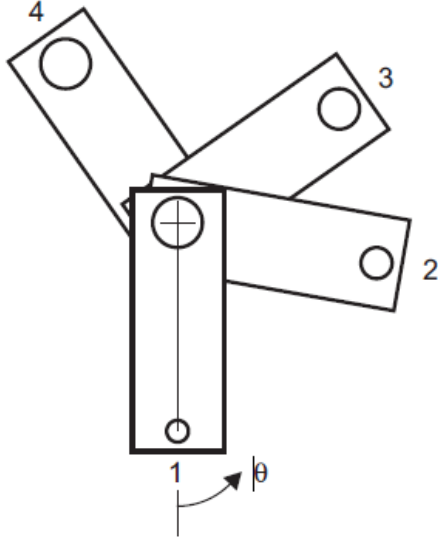
4. Dikdörtgen blok 90° oluncaya kadar ağırlık kutusuna çelik bilyelerden atınız.
5. Bloğun 90°'ye ulaşması için gerekli bilye sayısını kaydediniz. Bu bloğun dengesizlik momenti ($W.r$) ile orantılıdır.
6. Aynı işlemi diğer bloklarla (2, 3 ve 4 nolu) yaparak her biri için gerekli olan bilye sayısını bulunuz.

Denge için Blok Pozisyonlarının Hesaplanması

- (a) Tablo 2 yi kullanarak (1) ve (2) nolu bloklar için uygun açısal ve mil yönü konumlarını seçiniz.
- (b) (3) ve (4) nolu blokların açısal konumlarını hesaplama ya da çizim yoluyla bulunuz.
- (c) (3) ve (4) nolu blokların mil yönündeki yer değiştirmesini hesaplama ya da çizim yöntemiyle bulunuz.
- (d) Blokları verilen ve hesaplanan konumlarda sürgüyü kullanarak yerleştiriniz. Sürgüyü bir uca iterek bloklardan uzaklaştırınız.
- (e) Milin statik olarak dengede olup olmadığını kontrol ediniz.
- (f) Tahrik kayışını ve emniyet kapağını yerleştirerek motoru çalıştırınız ve milin dinamik dengede olup olmadığını kontrol ediniz.
- (g) Eğer mil dengede değilse hesaplamalarınızı ve blokların konumlarını kontrol ederek hatayı gidermeye çalışınız.
- (h) Mil tam olarak dengeye geldiğinde bloklardan birisini çok küçük miktarda kaydırarak denge üzerine etkisini gözlemleyiniz.

Tablo 2: Blokların mil üzerindeki yerleşim referansları

	Blok (1)		Blok (2)		Blok (3)		Blok (4)			
Ref.	$\theta_1 [^\circ]$	$X_1 [mm]$	$\theta_2 [^\circ]$	$X_2 [mm]$	$\theta_3 [^\circ]$	$X_3 [mm]$	$\theta_4 [^\circ]$	$X_4 [mm]$	Blok Sırası	Sınırlamalar
A	0	5	160	105	192	50	349	178	1324	Mil çok kısa
B	0	5	150	105	190	25	333	142	1324	
C	0	5	140	105	190	11	320	142	1324	Blok çok yakın
D	0	14	130	114	191	5	306	141	3124	
E	0	17	120	117	191	5	293	139	3124	
F	0	25	110	125	192	5	280	152	3124	
G	0	29	100	129	194	5	268	162	3124	
H	0	41	90	141	198	5	254	187	3124	
I	0	156	85	256	203	5	237	373	3124	Mil çok kısa
J	0	∞	81	∞	217	5	217	∞	-	



6. İSTENENLER

- (a) Statik ve Dinamik denge şartlarını yazınız.
- (b) Deney verilerini kullanarak yaptığınız hesaplamaları gösteriniz.
- (c) Moment-Vektör diyagramını milimetrik kâğıda çiziniz.
- (d) Teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılmasını yapınız. Meydana gelen farklılıkların neden ileri geldiğini irdelleyiniz.
- (e) Deney sonuçlarını yorumlayınız.

7. KAYNAKLAR

- [1] İbrahim Deniz AKÇALI, “Makine Dinamiği”, Kare Yayınları, 2012.
- [2] K.J. Waldron, G.L. Kinzel, “Kinematics, Dynamics and Design of Machinery”, Wiley second ed., 2004.
- [3] R.L. NORTON, “Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines”, McGraw-Hill, 2004.
- [4] Makine Laboratuvarı II deney Föyü, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 2011.

2.3. EKLEMELİ İMALAT 2 DENEYİ

Eklemeli imalat yöntemlerinden biri de fotopolimerizasyon yöntemidir. Bu yöntem ile üretilen nesneleri oluşturacak ham malzeme bir UV ışın kaynağı ile sertleştirilir (bu sertleştirme işleminin teknik terimi kürlemedir). Özellikle diş dolguları, implantlar, yapay organlar (biyouyumlu nesneler) bu yöntem ile üretilmektedir.

Fotopolimerizasyon ile eklemeli imalat ışığa duyarlı polimerlerin ışığa maruz kalarak bir seferde bir katman halinde kürlendiği eklemeli imalat şeklidir. Bu teknikte nesneler kürlenerek katman katman üretilir. Polimerler cinslerine göre farklı dalga boyundaki ışık ile aktive olurlar. Ayrıca ışığın miktarı ve süresi kürlendirme seviyesini de etkiler. Bu teknolojiyi kullanan 3B yazıcılar genellikle gözle görünmeyen dalga boyundaki ışığı kullanırlar

Fotopolimerizasyon yönteminde UV ışını ile sertleşen (kürlen) reçine yada mürekkep adı verilen fotopolimer sıvı kullanılır. Bu sıvı form UV ışını/radyasyonu ile sertleştirilir. Fotopolimer (ışıkla aktive olan reçine) genellikle elektromanyetik spektrumun ultraviyole veya görünür bölgesinde ışığa maruz kaldığında özelliklerini değiştiren bir polimerdir. Bu değişiklikler genellikle yapısal olarak ortaya çıkar; örneğin, malzemenin sertleşmesi ışığa maruz kaldığında çapraz bağlanma sonucu meydana gelir.

Fotopolimer 3 bölümden oluşur: monomer, oligomer ve fotobaşlatıcı. Ancak fotopolimerizasyon sadece monomer ve oligomerden de oluşabilir. Aşağıda 2 örnek fotopolimerizasyon birleşimi vardır:

Örnek 1:

Monomer: pHEMA
Oligomer: EDGMA
Fotobaşlatıcı: AIBN

Örnek 2:

Monomer: stiren
Oligomer: akrilat

Her iki örnekteki yapılar doğru oranlarda birleştirilir ve UV ışınına/radyasyonuna duyarlı mürekkepler meydana gelir.

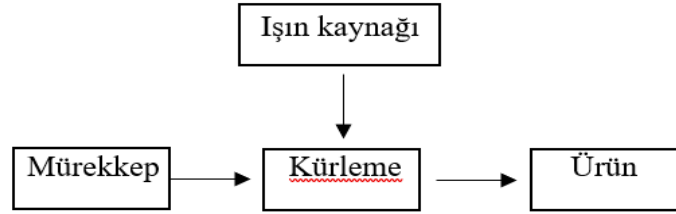
Fotobaşlatıcılar, ışık radyasyonu üzerine oligomerler üzerindeki belirli fonksiyonel grupların polimerizasyonunu aktive eden reaktif türlere ayrılan bileşiklerdir.

Fotokürleminin avantajlarından biri, örneğin lazerler gibi yüksek enerjili ışık kaynakları kullanılarak seçici olarak yapılabilmesidir; ancak çoğu sistem ışıkla kolayca aktive olmaz ve bu durumda bir fotobaşlatıcı gerekir.

Fotopolimerize sistemler genellikle ultraviyole ışık daha enerjik olduğundan, UV radyasyonu ile kürlenir.

Fotopolimerizasyonun termal sertleştirme polimerizasyonuna göre avantajları arasında daha yüksek polimerizasyon oranları ve uçucu organik çözücülerin ortadan kaldırılmasından kaynaklanan çevresel faydalar yer alır.

Fotopolimerizasyon yönteminin çalışma şematığı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Fotopolimerizasyon işlemi

Üretilen örnek ürünler

Denevin Gerçekleştirilmesi

Çalışmada Anycubic marka photon monno 4 model UV ışını ile kütleme cihazı ve UV ışınına duyarlı Anycubic marka mürekkep (reçine) kullanılacaktır. Kullanılan cihazın ve mürekkebin görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir.

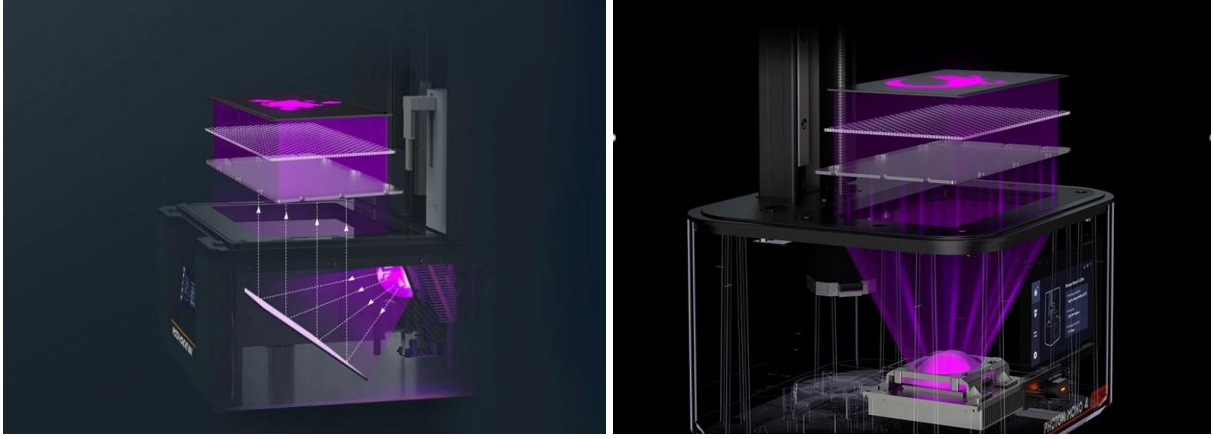


Şekil 2. Fotopolimerizasyon cihazı ve reçine

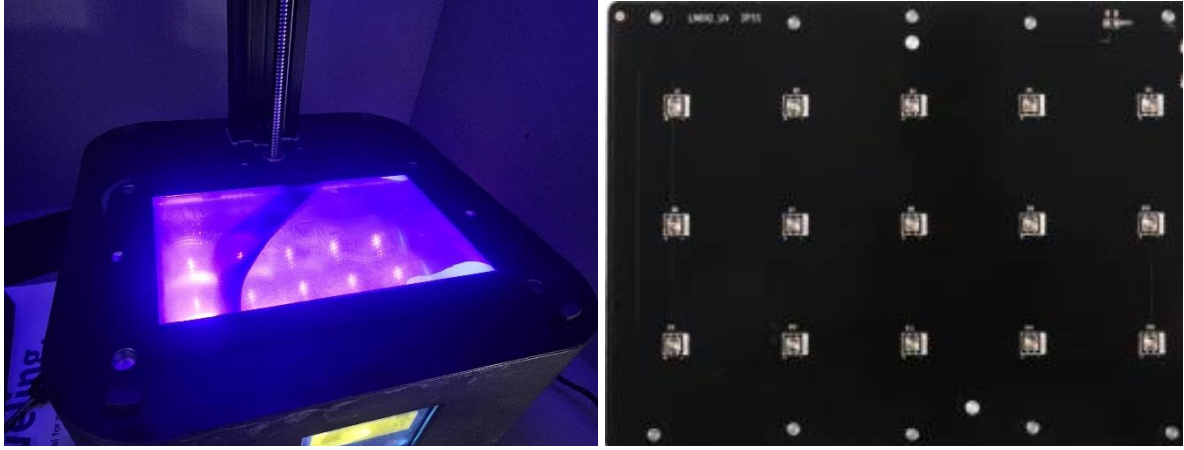
Kullanılan UV ışının dalga boyu 405 nanometre (nm)’dir. Bu dalga boyunda UV aktiveleşen fonksiyonel grup barındıran Anycubic marka mürekkep (reçine) kullanılacaktır.

Cihazın çalışma prensibi

Cihaz tezgah altına yerleştirilmiş UV ışını ile kütleme işlemini gerçekleştirmektedir. Üretilen nesneler cihazın üretim tablasına yer çekimi doğrultusunda biriktirilirler ve nesnelerden desteklerin sökülmesi işlemi için alkol bazlı solüsyonlar kullanılır. Cihazın çalışma prensibini gösteren görsel Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Fotopolimerizasyon cihazı çalışma prensibini gösteren görsel
Cihazda kütleme işleminden sorumlu UV ışık kaynaklarının görüntüsü Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. UV ışık kaynaklarının yerleşimi
Üretim esnasında alınmış görüntülerin bazıları Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. üretim esnasındaki görüntü

Fotopolimerizasyon ile Krleme Teknolojisinin Programlanması

rnek Program

1 katman için (Bu katman iç duvar tabakası (Wall inner), Dış duvar tabakası (Wall outer) ve doldurma (fill) basamaklarından oluşur);

M204 S500 (Yazıcı başlığın hareket hızı)

;TYPE:WALL-INNER

G1 F600 X123.1 Y126.9 E11.72252

G1 X123.1 Y123.1 E11.81731

G1 X126.9 Y123.1 E11.9121

G1 X126.9 Y126.9 E12.0069

M204 S5000

M205 X30 Y30

G0 F300 X127.3 Y127.3

M204 S500

M205 X8 Y8

İ duvar tabakası

;TYPE:WALL-OUTER

G1 F600 X122.7 Y127.3 E12.12164

G1 X127.3 Y122.7 E12.35114

G1 X127.3 Y127.3 E12.46589

M204 S5000

M205 X30 Y30

G0 F300 X127.1 Y127.3

G0 X126.5 Y123.5

M204 S500

M205 X8 Y8

Dış duvar tabakası

;TYPE:FILL

G1 F1200 X126.199 Y123.499 E12.47339

G1 X126.199 Y126.499 E12.54823

G1 X125.197 Y126.499 E12.57322

G1 X123.499 Y125.518 E12.62214

G1 X123.499 Y124.48 E12.64804

G1 X125.198 Y123.499 E12.69697

G1 X124.802 Y123.5 E12.70685

Dolum işlemleri

G1 X126.5 Y124.48 E12.75576

G1 X126.499 Y124.133 E12.76441

G1 X123.499 Y125.865 E12.85083

G1 X123.5 Y126.5 E12.86667

G1 X123.799 Y126.499 E12.87412

G1 X123.799 Y123.499 E12.94896

G1 X123.5 Y123.5 E12.95642

G1 X123.499 Y124.133 E12.97221

G1 X126.5 Y125.866 E13.05865

G1 X126.499 Y125.519 E13.06731

G1 X124.801 Y126.5 E13.11623

G1 X124.999 Y126.499 E13.12117

G1 X124.999 Y123.499 E13.196

M204 S5000

M205 X30 Y30

G0 F300 X124.999 Y123.7

Dolum işlemi devam

Deney kapsamında istenenler

1. Ders kapsamında derste istenecektir.

2.4. GÜNEŞ ENERJİSİ DENEYİ

DÜZ GÜNEŞ KOLEKTÖRÜ VERİM ÖLÇÜMÜ DENEYİ

Amaç:

- Güneş ışınlamından ısı enerjisi eldesine yönelik sistemlerin tanıtılması
- Güneş enerjili sıcak su sistemlerinin tanıtılması
- Güneş ışınlamı hesabı
- Düz güneş toplayıcısı ısı analizi ve verim ölçümü

Teori ve Deney Düzenegi:

Milyonlarca km uzaklıktaki güneşten, ışınlam yoluyla gelen ısı enerjisi dünyaya düşer. Atmosferdeki gaz ve bulutlar üzerinden zayıflayarak geçer ve yeryüzüne gelir. Işınlam teorisi olarakta bilinen Stefan-Boltzmann kanununa göre, bütün cisimler sahip oldukları sıcaklığın dördüncü kuvveti ile orantılı olarak etrafa ışınlam formunda ısı enerjisi yayarlar.

$$Q[W] = \left(\sigma \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right] \right) \times (A[m^2]) \times (T[K])^4 \quad (1)$$

Güneşten gelen ışınlam enerjisi, yeryüzünde güneş toplayıcıları ile faydalı ısı enerjisine dönüştürülür. Bu dönüşümün hangi oranda gerçekleştiği toplayıcı verimini belirler. Toplayıcı verimi ise birçok parametreye bağlıdır ki bu parametrelerden en önemlileri güneş ışınlamının toplayıcıya geliş açısı, toplayıcı geometrisi ve malzemesi ve çevre şartları olarak sayılabilir. Güneş ışınlamının yeryüzünde bulunulan bir yere dolayısıyla toplayıcıya geliş açısı gün boyunca ve yıl boyunca değişmektedir.

Deney kapsamında düz güneş toplayıcısının verim ölçümleri yapılacaktır. Düz toplayıcı, Şekil 1’de gösterildiği gibi 5 temel parçadan oluşmaktadır: 1. Saydam örtü, 2. Yutucu plaka, 3. Akışkanın dolaştığı boru veya kanallar, 4. Yalıtım, 5. Kasa.

1. Saydam örtü, güneşten gelen kısa dalga boylu ışınlamı geçirme oranı yüksek, yutucu plakadan gelen uzun dalga boylu ışınlamları geçirme oranı düşük olmalıdır. Pencere camları bu özelliği sağlamakta ve sera etkisi yapmaktadır. Ayrıca saydam örtü, yutucu plakayı çevre etkilerinden korumanın yanında, sıcaklığı artan yutucu plakadan çevreye olan ısı kayıplarını azaltır.
2. Siyah esaslı boyalarla boyanan yutucu plaka üzerine gelen güneş ışınlamını yutar ve sıcaklığı artırır. Plaka yüzeyinin ışınlam yutma oranı büyük, yayma oranı düşük olmalıdır. Ayrıca, ısıyı üzerindeki borulardan akan akışkana aktarması için ısı iletim

katsayısı büyük olmalıdır. Paslanmaz çelik, alüminyum ve bakır malzemeler en çok kullanılan plaka malzemeleridir.

3. Akışkanın dolaştığı boru ve kanallarda ise, ısı nihai kullanım amacı için faydalı ısı enerji olarak akışkana aktarılır. Boru malzemesi olarak ısı iletim katsayısı yüksek olan yutucu plaka kullanılan malzemeler kullanılır.
4. Yalıtım, özellikle toplayıcının alt ve yanlarından çevreye olan ısı kayıplarını engellemek için kullanılır. Yüksek sıcaklığa ulaşan yutucu plakadan çevreye taşınım ve ışıınım yoluyla ısı kaybı olur.
5. Kasa ise tüm toplayıcı parçalarını bir arada tutan muhafazadır. Taşıma ve dış etkilere mukavemetli olmasının yanında sızdırmazlığı da sağlamalıdır.

Düz güneş toplayıcısı ısı analiz:

Toplayıcı bir kontrol hacmi olarak değerlendirilip, enerji korunum denklemi uygulanabilir (Şekil 2). Toplayıcı üzerine gelen yayılı güneş ışıınımı borulardan dolaşan akışkana faydalı enerji olarak aktarılmaktadır. Bu esnada, özellikle sıcaklığı artan yutucu plakadan çevreye ısı kayıpları olmaktadır. O halde, güneş ışıınımı ya akışkana aktarılmakta ya da çevreye kaybolmaktadır.

$$Q_{gunes} = Q_{faydali} + Q_{kayip} \quad (2)$$

Faydalı enerji miktarı, akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları ve debisi ölçülerek hesaplanabilir:

$$Q_{faydali} = \dot{m}c_p(T_{cikis} - T_{giris}) = \rho \dot{V}c_p(T_{cikis} - T_{giris}) \quad (3)$$

Toplayıcıdan çevreye olan ısı kaybı ise, genel olarak toplayıcı geometrisi ve malzemesinin yanında özellikle çevre sıcaklığı ve rüzgâr hızı gibi çevre şartlarının fonksiyonudur. Bu ısı kaybının hesabı için iletim, taşınım ve ışıınımın dahil olduğu bir ısı kaybı analizi yapılır. En genel haliyle, toplam ısı kayıp katsayısı K cinsinden, ısı kaybı aşağıdaki forma indirgenebilir:

$$Q_{kayip} = KA(T_{yutucu_plaka} - T_{cevre}) \quad (4)$$

Toplayıcı verimi ise, yüzeye gelen güneş ışıınımının, faydalı enerji olarak akışkana aktarılma oranı olarak tanımlanır.

$$\eta_t = \frac{Q_{faydali}}{Q_{gunes}} = \frac{Q_{faydali}}{I_g A_t} \quad (5)$$

Burada, $I_g [W/m^2]$ toplayıcı yüzeyine o anda gelen güneş ışıınımı ve $A_t [m^2]$ toplayıcı alanıdır. Bu verim denkleminde, faydalı enerji, denklem 3'te belirtildiği gibi hesaplanır. Güneş ışıınımı ise ışıınım ölçen cihazlarla belirlenebileceği gibi, geliştirilen yarı-ampirik denklemlerle de hesaplanabilir. Toplayıcı verimi çevre ve işletme şartlarının da bir

fonksiyonu olarak, aşağıdaki denklemle belirtilen işletme noktası parametresine göre değerlendirilir.

$$P = \frac{T_{giris} - T_{cevre}}{I_g} \quad (6)$$

Tipik bir toplayıcı veriminin işletme noktası parametresine göre değişimi Şekil 3'te gösterilmiştir.

Güneş ışıınımı hesabı:

Yeryüzüne gelen güneş ışıınımı birçok astronomik, geometrik ve coğrafik parametrenin fonksiyonudur ve yılın her günü ve günün her anı için farklıdır. En doğru güneş ışıınımı belirlemesi deneysel olarak ölçmekle elde edilir. Ayrıca, güneş ışıınımı belirlemesi için, yapılan ölçüm değerlerine ve ilgili parametrelere bağlı olarak yarı-ampirik denklemler geliştirilmiştir. Deney kapsamında bu denklemler kullanılarak hesaplanan güneş ışıınımı değerleri kullanılacaktır. Daha fazla bilgi aşağıda verilen kaynaklarda bulunabilir. Deney kapsamında Tablo 1'de verilen Kırıkkale için hesaplanmış ışıınım şiddetleri kullanılacaktır.

Deneyin yapılışı ve ölçümlerin alınması:

Deney tesisatının şeması Şekil 4'te gösterilmiştir. Toplayıcı sabit eğimde güney dönük olarak yerleştirilmiştir. Toplayıcıdan geçen hacimsel debi, ve suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülür. Ölçüm her 10 dakikada tekrarlanır. En az 3 ölçüm alınır. Ölçümler Tablo 1'de verilen deney föyüne işlenir. Tipik olarak alınmış ölçüm değerleri ve örnek bir hesaplama aşağıda verilmiştir. Verim hesapları yapıldıktan sonra verim grafiği çizilir.

Güneş enerjili sıcak su sistemleri:

Şekil 5'te piyasada en çok kullanılan tipik bir güneş enerjili sıcak su tesisatı görülmektedir. Bu sistem, tabi dolaşımli, kapalı devreli, ısı eşanjörü toplayıcı devresinde, statik basınçlı sıcak su sistemidir.

Örnek hesaplama:

Toplayıcı alanı:	$A_t = 1.6m^2$
Toplayıcı yutucu plaka malzemesi:	Alüminyum boru - Alüminyum kanat
Toplayıcı yutucu plaka özelliği:	Siyah mat
Toplayıcı boru geçiş sayısı:	12

Hacimsel debi:

$$\dot{V} = 72 \frac{lt}{h} = 72 \times \frac{1 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{3600} = 2 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

Kütlesel debi:

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 2 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} = 0.02 \frac{kg}{s}$$

Çevre sıcaklığı:

$$T_{cevre} = 30 \text{ } ^\circ C$$

Suyun toplayıcıya giriş sıcaklığı: $T_{giris} = 50 \text{ } ^\circ C$

Suyun toplayıcıdan çıkış sıcaklığı: $T_{cikis} = 58 \text{ } ^\circ C$

Suya aktarılan faydalı ısı enerjisi:

$$Q_{faydali} = \dot{m} c_p (T_{cikis} - T_{giris}) = 0.02 \left[\frac{kg}{s} \right] \times 4180 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right] \times (58 - 50) [K] \\ = 668.8 [W]$$

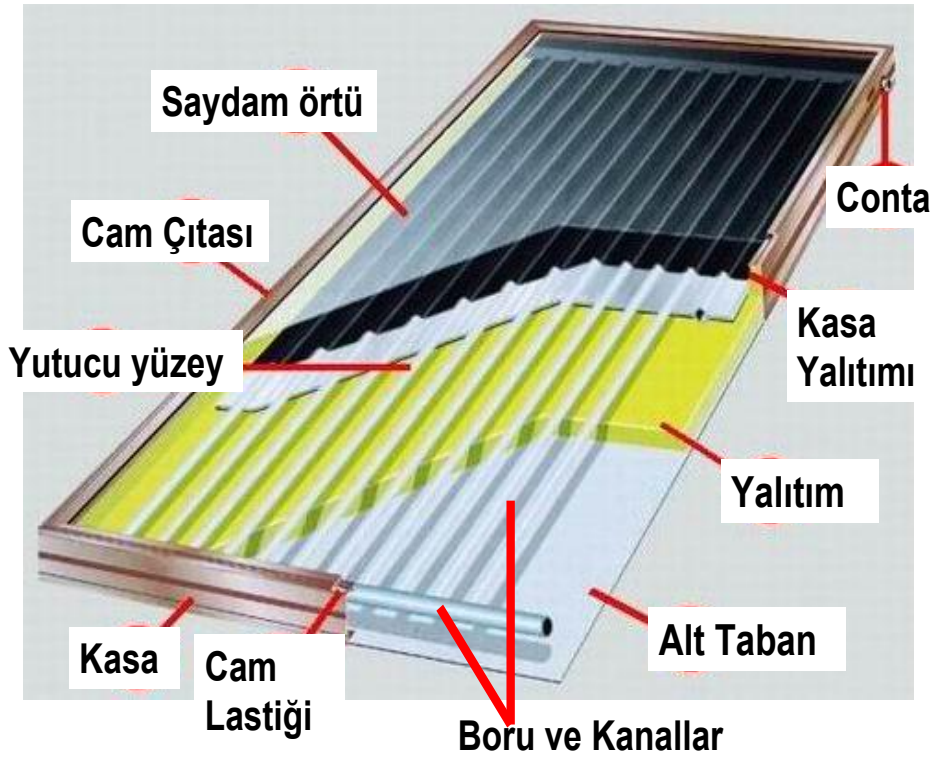
Bu deneyin yapıldığı yerde (Kırıkkale), zamanda (3 Ekim 2009, saat 12:00), sabit eğimli (eğim açısı 45°), güneye dönük (azimut açısı 0°), birim alana gelen anlık güneş ışınlamı değeri $I_e = 900 [W/m^2]$ olarak hesaplanmıştır.

Toplayıcı anlık verimi:

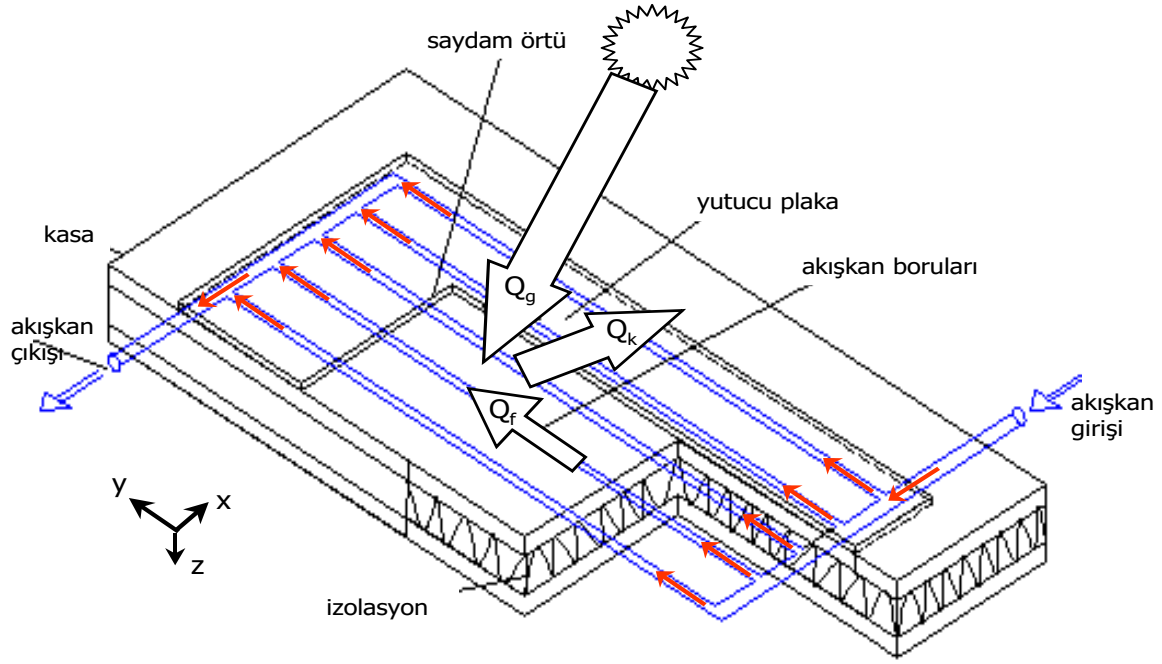
$$\eta_t = \frac{Q_{faydali}}{Q_{gunes}} = \frac{Q_{faydali}}{I_e A_t} = \frac{668.8}{900 \times 1.6} = \frac{668.8}{1440} = 0.48$$

İşletme noktası parametresi:

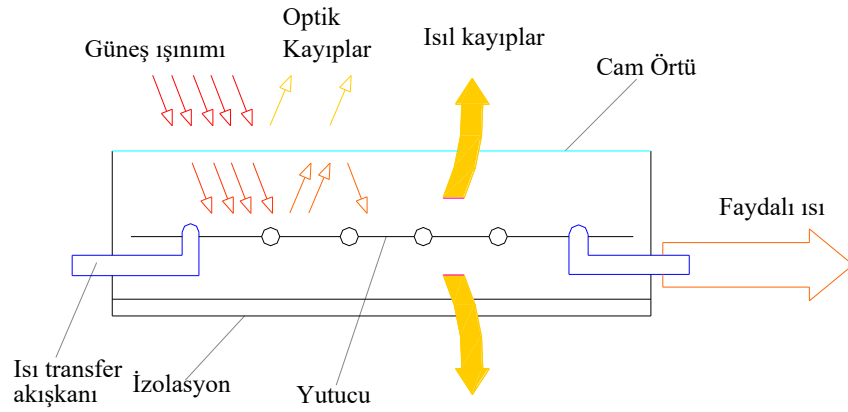
$$P = \frac{T_{giris} - T_{cevre}}{I_e} = \frac{50 - 30}{900} = 0.022 \frac{^\circ C}{W/m^2}$$



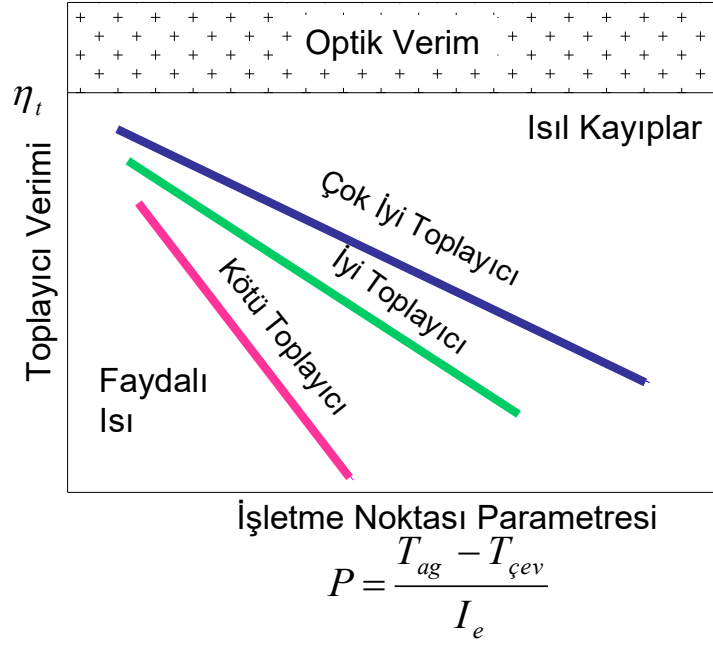
Şekil 1. Düz güneş kolektörü



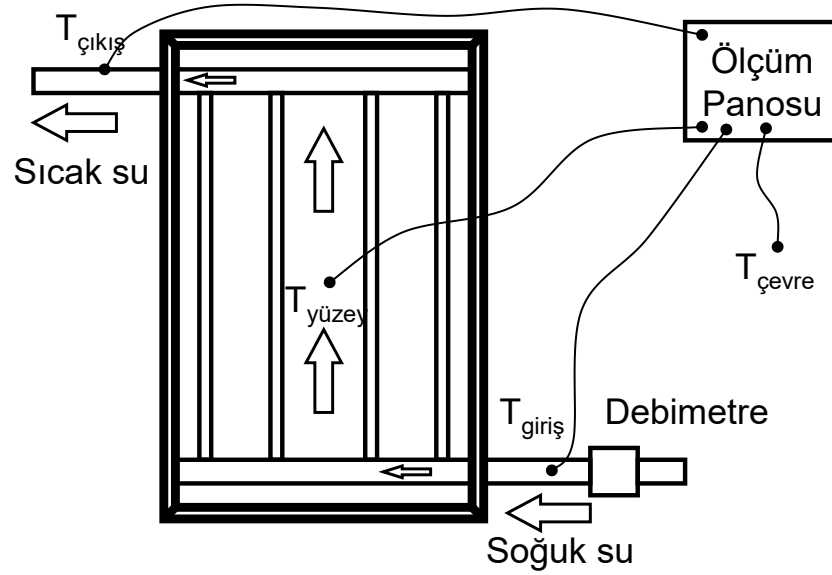
Şekil 2. Düz güneş toplayıcısı ısı analiz şeması



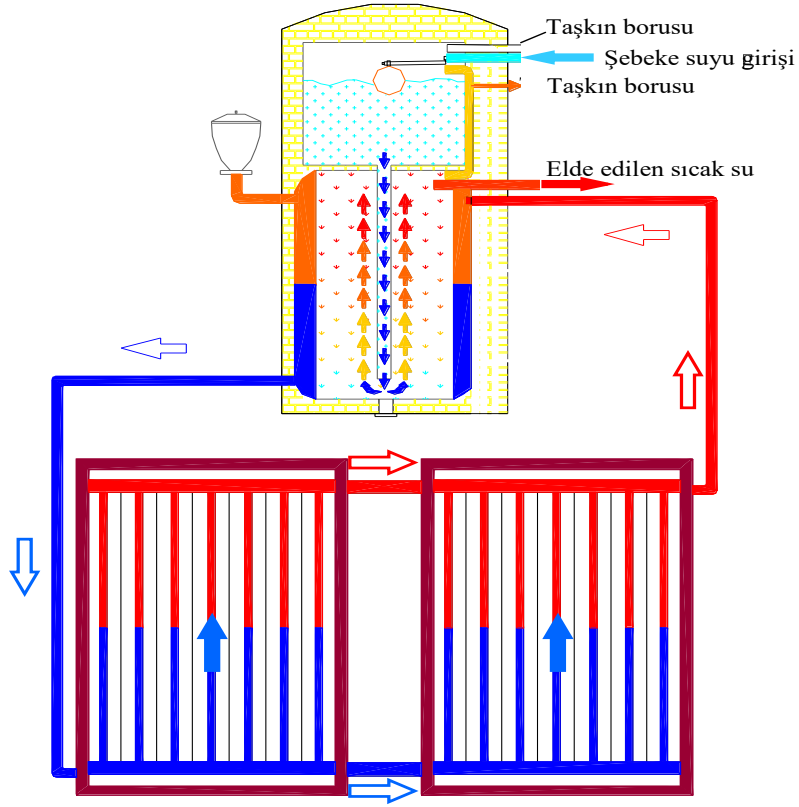
Düzlemsel güneş toplayıcısında optik ve ısı kayıplar



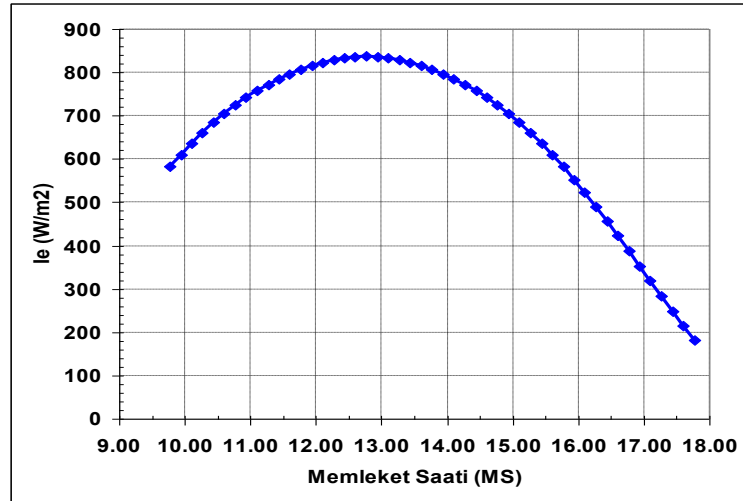
Şekil 3. Düz güneş toplayıcısı verim değişimi



Şekil 4. Düz güneş toplayıcısı deney tesisatı şeması



Şekil 5. Sıcak su sistemi (tabi dolaşım, statik basınçlı, kapalı devreli, ısı eşanjörü toplayıcı devresinde)



Şekil 6. Anlık ışıının gün boyunca değışimi

Tablo 1. Düz güneş toplayıcısı verim ölçümü deney föyü

DÜZ GÜNEŞ TOPLAYICISI VERİM ÖLÇÜMÜ - DENEY FÖYÜ													
Bulunulan yer: Kırıkkale			Enlem: 39°50' K										
			Boylam: 33°31' D										
Eğim Açısı (s) ve yönü: 45° - güney													
Kolektör Cam Sayısı: 1 adet						Yutucu Plaka Malzemesi: all boru, all kanat							
Kolektör Örtü Malzemesi: cam						Yüzey Özelliği: Siyah							
Kolektör Cam Kalınlığı:						Kolektör Alanı: 1.6 m2							
Kolektör İçi Tüp ve ya Kanalların sayısı: 12 adet						Akışkan Türü: Su							
									15 Nisan				
Tarih	Saat	Saat	Tgiriş	Tçıkış	Tçevre	Tyüzey	Vrüzgar	Debi	le	m	Q _{faydalı}	Verim(η _p)	P
	GS	MS	°C	°C	°C	°C	m/s	lt/h	W/m²	kg/s	W		
	09:00	9.77							582.3				
	09:10	9.94							610.6				
	09:20	10.10							635.7				
	09:30	10.27							660.8				
	09:40	10.44							684.1				
	09:50	10.60							704.4				
	10:00	10.77							724.2				
	10:10	10.93							741.9				
	10:20	11.10							757.7				
	10:30	11.27							772.5				
	10:40	11.44							785.6				
	10:50	11.60							796.5				
	11:00	11.77							806.6				
	11:10	11.94							815.3				
	11:20	12.10							822.1				
	11:30	12.27							828.1				
	11:40	12.44							832.8				
	11:50	12.60							836.2				
	12:00	12.77							838.6				
	12:10	12.94							836.2				
	12:20	13.10							832.8				
	12:30	13.27							828.1				
	12:40	13.44							822.1				
	12:50	13.60							815.3				
	13:00	13.77							806.6				
	13:10	13.94							796.5				
	13:20	14.10							785.6				
	13:30	14.27							772.5				
	13:40	14.44							757.7				
	13:50	14.60							742.3				
	14:00	14.77							724.2				
	14:10	14.94							704.4				
	14:20	15.10							684.1				
	14:30	15.27							660.8				
	14:40	15.44							635.7				
	14:50	15.60							610.6				
	15:00	15.77							582.3				
	15:10	15.94							552.4				
	15:20	16.10							522.9				
	15:30	16.27							490.3				
	15:40	16.44							456.6				
	15:50	16.60							424.0				
	16:00	16.77							388.7				
	16:10	16.94							352.9				
	16:20	17.10							319.0				
	16:30	17.27							283.1				
	16:40	17.44							247.6				
	16:50	17.60							214.8				
	17:00	17.77							181.0				

FOTOVOLTAİK VERİM ÖLÇÜMÜ DENEYİ

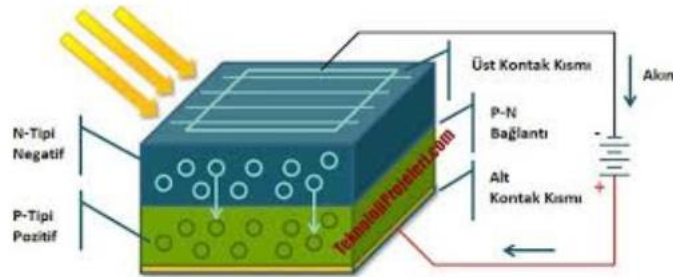
Amaç:

- Güneş ışınımından elektrik enerjisi eldesine yönelik sistemlerin tanıtılması
- Fotovoltaik sistemlerin tanıtılması
- Güneş ışınımı ölçümü
- Fotovoltaik sistem verimi hesaplama

Teori ve Deney Düzenegi:

Dünyamızın en büyük enerji kaynağı olan güneş enerjisi tarihsel süreç içerisinde elektrik enerjisi üretiminde de kendisini göstermiştir. Güneş enerjisi sistemlerinden elektrik enerjisi üretimini sağlayan sistemlere “Fotovoltaik Sistemler” adı verilir.

Fotovoltaik dönüşüm “photonic” ve “voltaic” dönüşümlerin bileşiminden ortaya çıkmıştır. Photonic dönüşüm ışın enerjisinin kimyasal enerjiye dönüşümü olarak tanımlanmaktadır. Voltaic dönüşüm ise kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüşümü olarak tanımlanır. Dolayısıyla Fotovoltaik (PV) dönüşüm sistemlerinde sisteme giren ışınların enerjisi elektrik enerjisine dönüşmektedir.



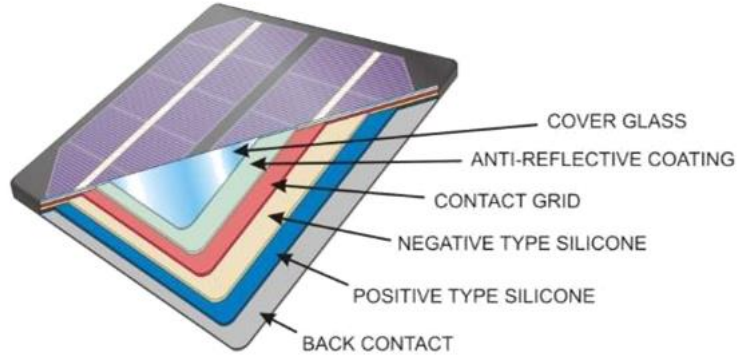
Şekil 1 Fotovoltaik dönüşüm

Fotovoltaik Panellerin Yapısı

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimini sağlayan fotovoltaik hücreler yarı iletken malzemeler kullanılarak üretilmektedirler. (Ge -Si-Te-At)

Bir PV hücresinin çalışma prensibi klasik p-n jonksiyonlu diyot ile çok benzerdir. Işık jonksiyon tarafından absorbe edilince, absorbe edilmiş foton enerjisi malzemenin elektron yapısına aktarılır ve jonksiyon civarında oluşan boşluk bölgesinde, ayrıışan yük taşıyıcıların oluşmasına neden olur.

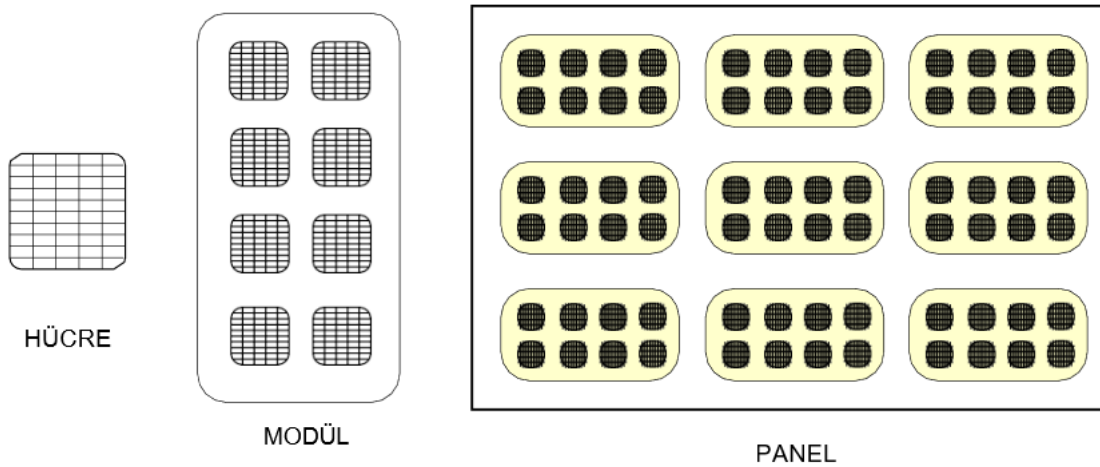
Bir PV hücresinin basit yapısı Şekil 2’de gösterilmiştir. Foto akımlarını toplamak için jonksiyonun her iki tarafına metal kontaklar yerleştirilmiştir. Hücrenin ön yüzü, yansıtmayı minimum seviyede tutacak ve mümkün mertebe çok miktarda ışığı yutacak anti yansıtıcı bir kaplama ile kaplıdır. Ayrıca mekanik koruma için en dış yüzeyi koruyucu bir cam ile kapalı olup, bu cam saydam bir yapıştırıcı ile sisteme tutturulmuştur.



Şekil 2. Fotovoltaik Hücre

Bir PV Modül ve Panel’in Elde Edilmesi

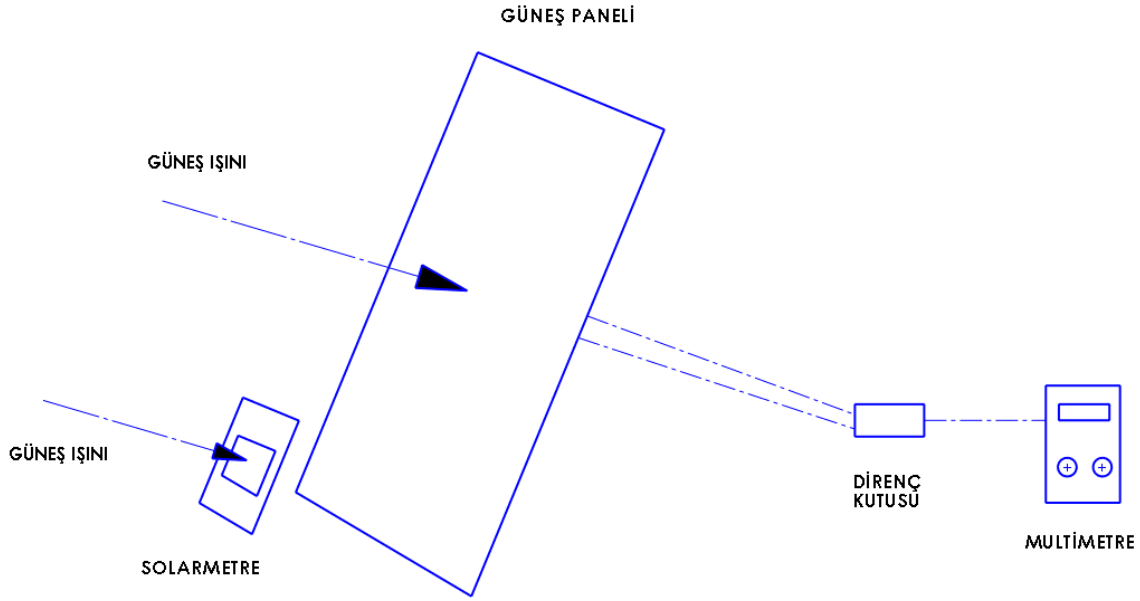
Tipik olarak bir PV hücre 25-30 cm² lik kare bir alana sahip olup, yaklaşık 1W’lık güç üretir. Yüksek güçler elde edebilmek için birçok PV hücre seri ve paralel olarak bağlanır ve büyük bir alana sahip bir modül elde edilir. Bir PV güneş paneli ise Şelil 2 ‘de dörüldüğü gibi ihtiyaç olan akım ve gerilimi üretecek şekilde modüllerin seri-paralel kombinasyonlarını içerir.



Şekil 2. Fotovoltaik Birimler

Hücrelerin seri bağlanmasıyla modül gerilimi artırılır, paralel bağlantı ile de sağlanmak istenilen akım değeri elde edilir. Benzer durum paneller birbiri arasında bağlantısında da geçerlidir.

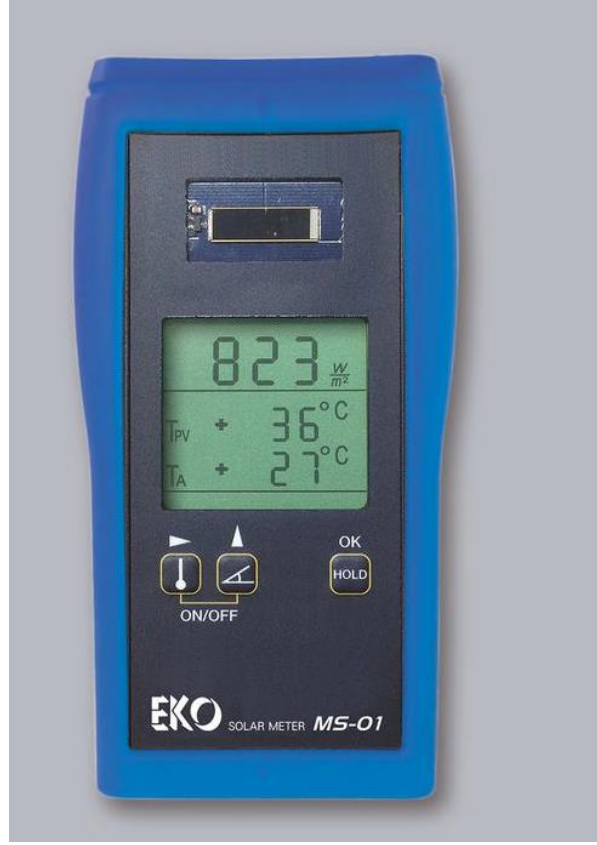
Deney tesisatı Şekil 3’ te şematik olarak görünmektedir.



Şekil 3. Deney tesisatı şeması

Güneş Işınımı Ölçümü

Güneş ışıınımı yayılı ve direkt ışıınım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Ve ölçüm cihazları da Pirhelometre ve Piranometre olarak bilinmektedir. Deneyde ise global güneş ışıınımı el tipi solarmetre cihazı kullanılmaktadır. Bu cihaz bulundurduğu iki sıcaklık ölçer probu sayesinde ortam ve panel sıcaklığı verilerinin okunmasının yanı sıra panel için güney yönlülük ve eğim açılarının ölçülmesine olanak vermektedir.



Şekil 4. Solarmetre

Panel Verimi Hesabı

Kullanılan fotovoltaiik panelin verimi sistemden çekilen gücün güneş ışınlımına oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$\eta = \frac{i \times V}{I_e \times A_k} \quad (1)$$

i:devreden çekilen akım (Amper) V:devrenin gerilim farkı(Volt)

I_e : Ölçülen radyasyon(W/m^2) A:Kollektör etkin alanı (m^2)

Kollektör alanındaki bazı hücre veya modüllerde elektiriksel veya mekanik deformasyonlardan dolayı enerji dönüşümü yapamaz hale gelmesi durumu göz önüne alınarak deney öncesinde yüksüz halde panelin potansiyeli ölçölüp panelin toplam potansiyeline bölünüp kollektör alanıyla çarpılmasıyla elde edilir.

$$A_k = \frac{A \times V_k}{V_p} \quad (2)$$

A:Kollektör toplam alanı (m^2) V_k : Kollektör etkin potansiyeli (Volt)

V_p : Panel potansiyeli

Örnek hesaplama:

Toplayıcı alanı:

$$A_t = 1.65 \times 0.99 = 1.6335 m^2$$

Panel Potansiyeli:

$$V_p = 38.7$$

Anlık radyasyon :

$$I_e = 952 W/m^2$$

Kollektör Potansiyeli

$$V_p = 38.7 V$$

Kollektör Etkin Potansiyeli

$$V_k = 34.2 V$$

Kollektör Etkin Alanı:

$$A_k = \frac{1.6335 \times 34.2}{38.7} = 1.4436 m^2$$

Akım:

$$i = 5.84 A$$

Voltaj:

$$V = 34.5 V$$

Toplayıcı anlık verimi:

$$\eta = \frac{5.84 \times 34.5}{952 \times 1.4436} = \%14.66$$

2.5. IŞINIMLA ISI GEÇİŞİ DENEYİ

1. AMAÇ VE KAPSAM

Işınım ile ısı geçişi deneyi, Deney A ve Deney B şeklinde iki kısımdan oluşmakta olup A deneyinde; bir yüzey üzerindeki Radyasyon şiddetinin Radyasyon kaynağıyla yüzeyin kaynağa uzaklığının karesiyle ters orantılı olduğunun gösterilmesi, B deneyinde ise Stefan-Boltzmann Kanunu'nun gösterimi ve ışıyım şiddetinin sıcak kaynağın sıcaklığının dördüncü kuvvetiyle değiştiğinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

İki sistem arasında veya sistemle çevresi arasında bir sıcaklık farkı olduğu zaman enerji transfer edilmektedir. Yalnız sıcaklık farkından dolayı bir sisteme transfer edilen bu enerjiye, termodinamikte ısı enerjisi denilmektedir. Diğer taraftan termodinamiğin ikinci kanununa göre ısı, sıcak bir sistemden daha soğuk bir sisteme doğru akmaktadır. Isı doğrudan doğruya ölçülemez ve gözlenemez, ancak doğrudan doğruya tesirler gözlenebilir ve ölçülebilir. Belirli bir sıcaklık farkından dolayı birim zamanda transfer edilen ısı miktarının hesabı, mühendislik açısından çoğu zaman önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Isı bir sistem ile sistemin çevresi arasında yalnız sıcaklık farkından dolayı akan bir enerji şeklidir. Bu enerji miktarını aşağıdaki ısı transfer şekillerinin birisi, ikisi veya üçü birden kullanılarak belirlenebilir.

a) Isı İletimi (Kondüksiyon)

Isı iletimi aynı katı, sıvı veya gaz ortamındaki farklı bölgeler arasında veya doğrudan fiziki temas durumunda bulunan farklı ortamlar arasında, moleküllerin fark edilir bir yer değiştirmesi olmaksızın, moleküllerin doğrudan teması sonucunda oluşan ısı yayılımı işlemidir. Isı iletiminin genel denklemi Fourier tarafından aşağıdaki formülle verilmiştir:

$$Q = -kA \frac{dT}{dn} \quad (1)$$

Burada iletimin tek boyutlu olduğu düşünülerek (1) eşitliği aşağıdaki şekilde düzenlenebilir.

$$Q = kA \frac{(T_1 - T_2)}{L} \quad (2)$$

Burada;

Q : İletimle geçen ısı miktarı, (W)

A : Isı iletiminin gerçekleştiği alan, (m²)

L : Isının iletiminin gerçekleştiği malzemenin kalınlığı, (m)

T₁, T₂ : Isı iletiminin gerçekleştiği malzemenin duvar sıcaklıkları, (K)

k : Malzemenin ısı iletim katsayısı, (W/(mK))

b) Isı Taşınımı (Konveksiyon)

Bir yüzey üzerinden veya bir boru içerisinde akan akışkanın sıcaklığı yüzey sıcaklığından farklı ise akışkan hareketi sonucu akışkan ile yüzey arasındaki ısı transferi olayı konveksiyon olarak adlandırılır. Newton'un Soğuma Kanunu olarak adlandırılan aşağıdaki denklem konveksiyonun özel kanunudur:

$$Q = hA(T_s - T_\infty) \quad (3)$$

Burada;

h : Isı taşınım katsayısı, (W/(m² K))

T_s : Yüzey sıcaklığı, (K)

T_a : Akışkan sıcaklığı, (K)

Isı taşınımı akışın yapısına göre sınıflandırılır. Eğer akışkan herhangi bir pompa, vantilatör gibi benzeri cihazlar ile ya da rüzgâr tarafından etkilenmiyorsa bu akışkandaki ısı taşınımına doğal ısı taşınımı denir. Eğer akışkan herhangi bir pompa, vantilatör gibi benzeri cihazlar ile ya da rüzgâr tarafından zorlanmış harekete maruz kalıyor ise bu akışkandaki ısı taşınımına zorlanmış ısı taşınımı denir.

c) Isı Işınımı (Radyasyon)

Herhangi bir temas ve akışkan hareketi olmaksızın elektro manyetik dalgalar vasıtası ile olan ısı transferi olayına radyasyon denir. Radyasyon yoluyla gerçekleşen ısı transferi Stefan-Boltzman eşitliği olarak aşağıdaki şekilde tarif edilmektedir.

$$Q = \xi F \sigma A T^4 \quad (4)$$

Burada;

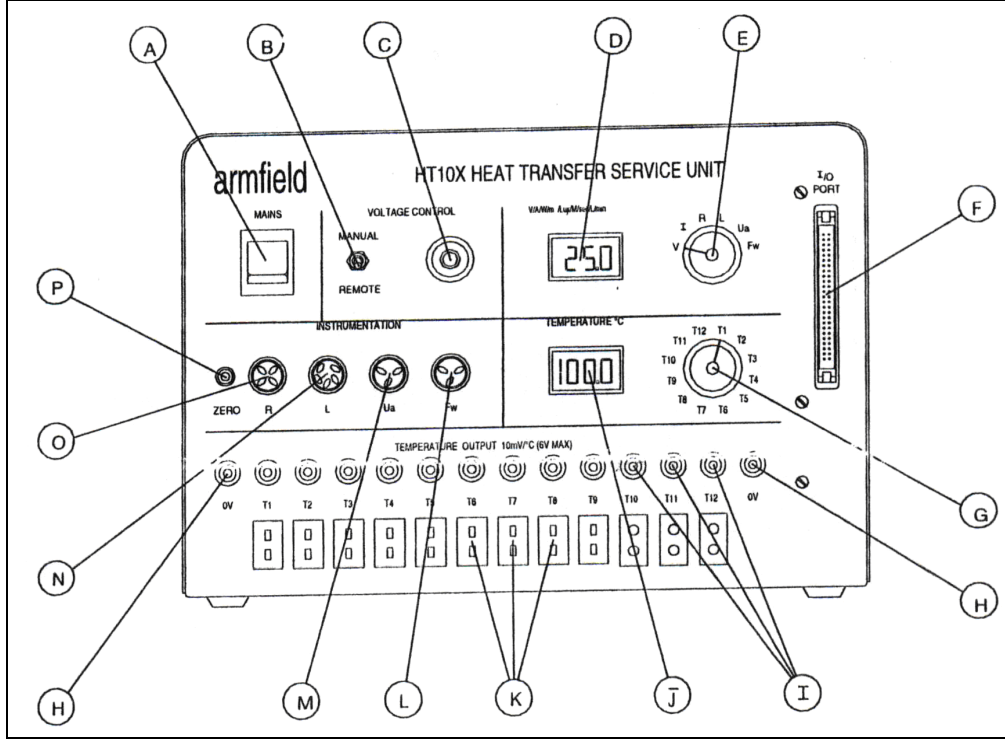
σ : Stefan-Boltzman sabiti ($\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ W/(m²K⁴))

ξ : Isı Yayınım katsayısı

F : Geometrik biçim katsayısı

Işınım ile olan ısı geçişi için iki deney yapılacaktır.

3. DENEY TESİSATI



Şekil 1. Deney düzeneğinin ana ünitesi

4.DENEYİN YAPILIŞI

Denev A: Bir yüzey üzerindeki Radyasyon şiddetinin Radyasyon kaynağıyla yüzeyin kaynağa uzaklığının karesiyle ters orantılı olduğunun gösterilmesi.

Şekil 1’de gösterilen servis biriminde (HT 10 X) A anahtarı (I) konumuna getirilir. Ölçümleri yapmak için Şekil 1’de gösterilen düzenekte E düğmesi V konumuna getirilerek sistemin voltaj değeri 1 konumuna getirilerek sistemin çektiği akım değeri ve R konumuna getirilerek radyasyon miktarı D göstergesinden okunur. Voltaj değerini artırmak veya azaltmak için Şekil 1’deki C düğmesi istenilen değere ayarlanır. Sistem kararlı duruma gelinceye kadar (sıcak yüzey sıcaklığı sabit oluncaya kadar) çalıştırılır. Kararlı duruma geldikten sonra; ölçümleri yapmak için Şekil 1’de (HT 10 X) gösterilen servis biriminde G anahtarı T9 konumuna getirilerek çevre sıcaklığı ve T10 konumuna getirilerek yüzey sıcaklığı değeri J göstergesinden okunur. Radiometre mesafesi değiştirilerek çeşitli R değerleri okunur. Okunan değerler ilgili formüllerde yerlerine konularak hesaplamalar yapılır.

Verilen Sabitler;

C : Işınım ölçer (Radiometer) düzeltme faktörü (30.12).

Okunan Değerler;

T9 : Ortam sıcaklığı (°C)
T10 : Plaka yüzey sıcaklığı (°C)
X : Işınım ölçer (Radiometer) ile sıcak plaka mesafesi (mm)
R : Işınım akısı (W/m²)

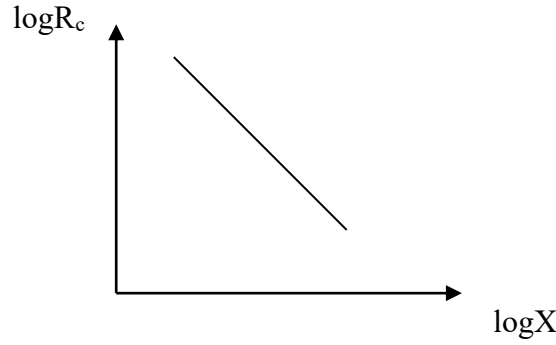
Deney Sonucunda Hesaplanacak Değerler;

R_c: Düzeltilmiş ışıınım akısı (W/m²)

Kullanılacak Formüller;

R_c: R*C

Deney No	R _c	logR _c	X	logX
1				
2				
3				
4				

İstenilen Grafikler;**Sonuçlar ve Karşılaştırmalar;**

Bir yüzeydeki ışıınım şiddeti ve mesafe arasındaki grafiğin yorumunun yapılması

Deney B: Stefan-Boltzman Kanunu'nun gösterimi. Işınım şiddetinin sıcak kaynağın sıcaklığının dördüncü kuvvetiyle değiştiğinin gösterilmesi.

Şekil 1'de gösterilen servis biriminde (HT 10 X) A anahtarı (I) konumuna getirilir. Ölçümleri yapmak için Şekil 1' de gösterilen düzenekte E düğmesi V konumuna getirilerek sistemin voltaj değeri I konumuna getirilerek sistemin çektiği akım değeri ve R konumuna getirilerek radyasyon miktarı D göstergesinden okunur. Voltaj değerini artırmak veya azaltmak için Şekil

1'deki C düğmesi istenilen değere ayarlanır. Sistem kararlı duruma gelinceye kadar (sıcak yüzey sıcaklığı sabit oluncaya kadar) çalıştırılır. Kararlı duruma geldikten sonra; ölçümleri yapmak için Şekil 1'de (HT 10 X) gösterilen servis biriminde G anahtarı T9 konumuna getirilerek çevre sıcaklığı ve T10 konumuna getirilerek yüzey sıcaklığı değeri J göstergesinden okunur. Radiometre mesafesi sabit olarak durdurulur. Sıcak kaynağın sıcaklığı değiştirilir. Her durum için çeşitli R değerleri okunur. Okunan değerler ilgili formüllerde yerlerine konularak hesaplamalar yapılır.

Verilen Sabitler

C :Işınım ölçer (Radiometer) düzeltme faktörü (30.12)
 σ :Stefan-Boltzman sabiti ($\sigma=5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$)

Okunan Değerler

T9 :Ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T10 :Plaka yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
X :Işınım ölçer (Radiometer) ile sıcak plaka mesafesi (m)
R :Işınım akısı (W/m^2)

Deney Sonucunda Hesaplanacak Değerler

R_c : Düzeltilmiş ışıınım akısı (W/m^2)
 T_s^4 : Kaynak sıcaklığı (K^4)
 T_a^4 : Ortam sıcaklığı (K^4)
 q_b : Işınım miktarı (W/m^2)
F: Hesaplanan akı ile ölçülen akı oranı

Kullanılacak Formüller

$R_c: R \cdot c$
 $T_s = T_{10} + 273$
 $T_a = T_9 + 273$
 $q_b = \sigma \cdot (T_s^4 - T_a^4)$
 $F = q_b / R_c$

Deney No	T_{10}	T_9	R	X
1				
2				
3				
4				

Sonuçlar ve Karşılaştırmalar

Stefan-Boltzman Kanunu'nun yorumunun yapılması.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

- a) Işınım şiddetinin yayma ile ilişkisini,
- b) Işınım şiddetinin gelen ışınlama ile ilişkisini,
- c) Işınım şiddetinin giden ışınlama ile ilişkisini açıklayınız.

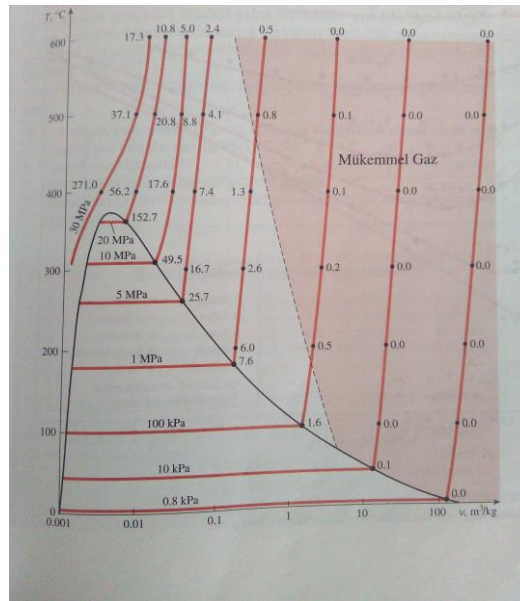
2.6.İKLİMLENDİRME DENEYİ

1. Giriş

İklimlendirme, yaşanılan ortamlarda içerisinde nem de bulunan havanın(atmosferik hava) konfor şartlarına getirilmesi anlamını taşır. Çevremizdeki hava, insan bedeninin gereksinim duyduğu sıcaklık ve nem değerlerine sahip değilse, insan bulunduğu ortamda rahatsızlık duyar. Bu rahatsızlığın kaynağı, bedende üretilen enerjinin ısı formunda çevre atmosferine atılması işleminin, yüksek sıcaklık ve yüksek nem değerleri sebebiyle, giderek zorlaşması veya hava sıcaklığının çok düşük olması sonucu bedende üretilen enerjinin bedenin ısı dengesini sağlayacak miktarda olmamasıdır. Bir başka rahatsızlık kaynağı da, havadaki nem miktarının çok düşük olmasıdır. Bu durum da yine solunum bölgelerindeki hızlı buharlaşma sebebiyle istenmeyen bir durumdur. Bu tür rahatsızlıkları gidermek üzere çevre atmosferinin kişilerce istenilen sıcaklık ve nem değerlerine getirilmesi, iklimlendirme yoluyla konforun sağlanması olarak bilinir. Farklı parametrelere ve subjektif değerlendirmelere bağlı olmasına rağmen, çok hafif esintili (0.2-0.5 m/s), 20 °C sıcaklıkta ve % 50 bağıl nem taşıyan bir atmosfer ortamı genel geçer bir konfor ortamı olarak tanımlanabilir.

Soluduğumuz hava, hacimsel bileşimi %21 oksijen ve %79 azot olarak kabul edilen hava değildir. Hava içerisinde, 1 kg kuru havaya eşlik etmek üzere, yaklaşık 2 gr ile 20 gr arasında değişen, genelde kızgın buhar fazında veya havanın neme doyma şartlarında doymuş buhar fazında buhar bulunur. Bu sebeple hava nemli hava olarak tanımlanır ve bunun kuru hava kısmı sabit, nem kısmı ise değişken kısım olarak değerlendirilir.

Kuru hava kendisini oluşturan bileşenler itibariyle, içerisindeki nem ise sahip olduğu **düşük kısmi basınç** nedeniyle ideal gaz olma özelliklerini taşırlar. Böylece, nemli hava ikilisi de ideal gaz kabul edilen ve kimyasal reaksiyona girmeyen iki bileşenden oluşan bir gaz karışımı olarak ele alınır. Su buharının mükemmel gaz olarak davranabileceği bölge **Sekil 1’de** görülmektedir. 10 kPa basıncın altındaki basınçlarda ne olursa olsun su buharı için mükemmel gaz kabulü yapılabilir.



Şekil 1. Su için T-v diyagramı

Gaz karışımları için ortaya konan Gibbs – Dalton kanunlarına göre; nemli havanın basıncı, kendisini oluşturan bileşenlerin, karışım hacmi ve karışım sıcaklığında kendi başlarına sahip olacakları kısmi basınçların toplamına eşittir.

$$\mathbf{P} = \mathbf{P}_a + \mathbf{P}_v \quad (1)$$

Örneğin 101.325 kPa değerine sahip standart atmosfer basıncında, su buharı 0.5 ile 3 kPa arasında değişen bir basınca sahip iken, geri kalan kısım kuru havaya aittir. Yine aynı kanunların sonucu olarak, nemli havanın hacmi, kendisini oluşturan bileşenlerin, karışım basıncı ve karışım sıcaklığında kendi başlarına sahip olacakları kısmi hacimlerin toplamına eşittir.

2. Teorik Bilgiler ve Bağlantılar

İki saf maddeden oluşan bir ideal gaz karışımı olarak ele alınan nemli havanın termodinamik durumunun belirlenebilmesi için en az üç özeliğinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Ayrıca, nemli hava özellikleri psikrometrik özellikler olarak bilinir ve bu konuyla ilgilenen bilim dalı psikrometri olarak adlandırılır. Psikrometrik özellikler, nemli havanın değişmeyen kısmı olan kuru havaya göre tanımlanır.

Mutlak-Özgül nem, ω (kg su buharı/kg kuru hava)

Verilen bir hacimdeki su buharı kütlesinin kuru hava kütlesine oranı olarak tanımlanır. İdeal gaz bağıntıları da kullanılarak aşağıdaki değişik şekillerde ifade edilebilir. Eşitliklerde, v su buharını, a ise kuru havayı göstermektedir.

$$\omega = m_v / m_a \quad (2)$$

$$R_{su} = 0.418 \text{ kJ/kg.K}, R_{hava} = 0.2870 \text{ kJ/kg.K}$$

$$m_v = P_v \cdot V / R_{su} \cdot T \quad (3)$$

$$m_a = P_a \cdot V / R_{hava} \cdot T \quad (4)$$

$$\omega = 0.622 P_v / P_a \text{ (kg su buharı / kg kuru hava)} \quad (5)$$

$$P = P_v + P_a \text{ olduğundan; } \omega = 0.622 p_v / (p - p_v) \text{ şeklinde yazılabilir.} \quad (6)$$

Bağıl nem, Φ

Bulunduğumuz ortamda hissedeceğimiz rahatlığa havada bulunan nem miktarının belli bir etkisi vardır. Ancak bu bağıl nem miktarına oldukça bağlıdır. Belirli bir T sıcaklığındaki nemli havanın, belirli bir hacminde bulunan su buharı kütlesinin, aynı sıcaklık ve aynı hacimde doymuş hava bulunması durumundaki su buharı kütlesine oranı bağıl nem olarak tanımlanır.

$$\Phi = m_v / m_s = (V / v_v) / (V / v_s) = v_s / v_v \quad (7)$$

$P_v v_v = P_s v_s$ ideal gaz bağıntısı kullanılarak,

$$\Phi = p_v / p_s \text{ olarak elde edilir.} \quad (8)$$

Son eşitlik, bağıl nem'in, verilen bir T sıcaklığında, nemli havadaki su buharına ait kısmi basıncın, aynı sıcaklık için belirlenen doyma basıncına oranını göstermekte ve doymuş hava için bağıl nem'in 1'e (%100) eşit olacağını ifade etmektedir.

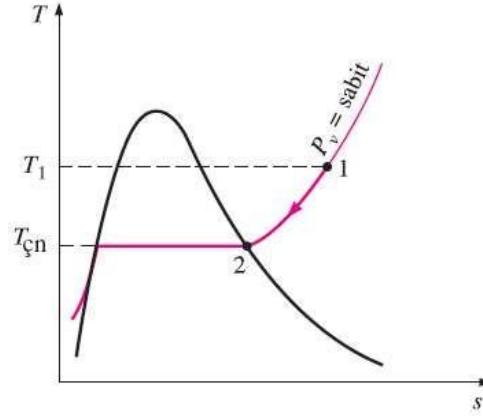
İki önemli kavramı, özgül nem ve bağıl nem kavramalarını birbirine bağlayan bir eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\Phi = (\omega \cdot P) / [(0.622 + \omega) \cdot P_s] \quad (9)$$

Bağıl nem 0 (kuru hava) ile 1 (doymuş hava) değerleri arasında değişir. Havanın tutabileceği nem miktarı onun sıcaklığına bağlıdır. Bundan dolayı havanın özgül nemi sabit kalsa bile bağıl nemi sıcaklıkla değişir.

Çiy noktası sıcaklığı, $T_{\text{çiy}}$

Yukarıda da söylendiği gibi, T sıcaklığındaki bir nemli havada yer alan su buharı normal olarak kızgın buhar fazındadır ve kısmi basıncı da P_v 'dir. Bu formdaki su buharını içeren nemli havaya doymamış hava denilir. Su buharının kızgın buhar fazında bulunduğu böyle bir nemli hava (kuru hava + nem) sabit basınçta soğutulursa, su buharının kısmi basıncı için belirlenmiş doyma sıcaklığında, ilk doymuş sıvı (çiğ) tanecikleri oluşmaya başlar. Bu sıcaklık değeri, T_{doy} çiğ noktası sıcaklığı olarak bilinir. P_v 'nin bilinmesi durumunda, T_{doy} buhar tablolarından bulunabilir. $T_{\text{çiy}} = T_{\text{doy}@P_v}$ Doymuş havanın çiy noktası sıcaklığı ile kuru termometre sıcaklığı aynıdır.



Şekil 2. Suyun T-s diyagramının çiy noktası sıcaklığı

Doymuş hava, doyma basıncı

T sıcaklığında tutulan bir nemli hava hacmine su buharı ilave edilirse, kızgın buhar fazındaki su buharının kısmi basıncı, T sıcaklığı için belirlenmiş p_s doyma basıncına kadar artar. Daha fazla su buharı ilave edilirse nemli hava ortamında doymuş sıvı tanecikleri oluşmaya başlar, fakat basınç aynı kalır. Bu durumdaki hava, su buharı olarak tutabileceği en büyük miktardaki nemi bulundurması sebebiyle doymuş hava olarak isimlendirilir. Bu durumla eşleşen en büyük özgül nem, $\omega_s = 0.622 p_s / (p - p_s)$ eşitliğiyle verilir. (10)

Nemli hava entalpisi, $h(\text{kJ/kg kuru hava})$

Kuru hava ve su buharının oluşturduğu nemli hava, ideal gaz olarak değerlendirilebildiği için entalpisi(yaygın özellik) de kendisini oluşturan bileşenlerin entalpileri toplamıyla verilir.

$$H = H_a + H_v = m_a h_a + m_v h_v \quad (11)$$

$$h = h_a + \omega h_v \quad (12)$$

Kuru hava ve su buharı için entalpiler sırasıyla,

$$h_a = c_p T = 1.005.T \quad (13)$$

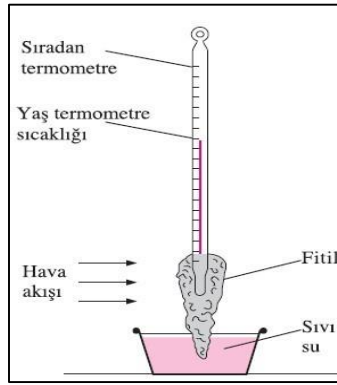
$$h_v = 2500 + 1.88T = h_v (T, \text{düşük } P) \approx h_g(T) \quad (14)$$

Nemli hava entalpisi,

$$h = 1.005T + \omega (2500 + 1.88T) \quad (15)$$

Kuru ve Yaş Termometre Sıcaklıkları

Nemli hava ortamında bir standart termometre aracılığıyla ölçülen sıcaklık “ Kuru Termometre Sıcaklığı” olarak bilinir ve T_{kuru} veya DBT (dry bulb temperature) sembolleriyle gösterilir. Termometre haznesi bir fitil veya pamukla sarılıp, sürekli nemli kalması sağlanır ve nemli hava bir akım şeklinde termometre üzerinden geçirilirse, nemli hava akımı yoluyla fitildeki suyun buharlaşmasıyla, fitil ve dolayısıyla termometre haznesinden çekilen ısı sonucunda, haznedeki sıcaklık değeri düşer. Bu durumda termometrede okunan sıcaklık “Yaş Termometre Sıcaklığı” olarak tanımlanır ve $T_{\text{yaş}}$ veya WBT (Wet Bulb Temperature) sembolleriyle gösterilir. Yaş termometre sıcaklığı bir ısıl denge sıcaklığı olup termodinamik bir özellik değildir.



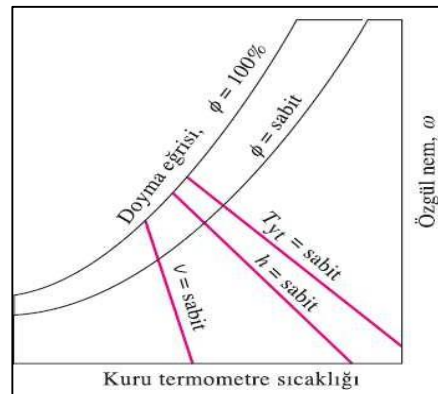
Şekil 3. Kuru ve yaş termometre sıcaklığı

Psikrometrik Özelliklerin Ölçülmesi

Verilen bir basınçtaki atmosferik havanın hali, iki bağımsız yeğin özellik tarafından kesin olarak belirlenebilir. Geri kalan özellikler yukarıda verilen bağıntılardan kolaylıkla hesaplanabilir. Bir iklimlendirme sisteminin tasarımı sırasında bu hesaplar çok sayıda farklı hal için tekrarlandığından, en sabırlı mühendislerin bile bunalmasına neden olabilirler. Bu nedenle bilgisayarda yapılmış hesaplamalar ya da bu hesaplamaları bir kez yapıp sonuçları kolay okunabilecek diyagramlarla ifade etmenin faydaları vardır. Bu diyagramlara **psikrometrik diyagramlar** adı verilir

Özgül nem (ω) ve bağıl nemin (Φ) direkt olarak ölçülmesi söz konusu olmamaktadır. Ölçülebilen özellikler kuru ve yaş termometre sıcaklıklarıyla çiy noktası sıcaklığıdır. Nemli havanın durumunu belirlemek üzere gerekli olan, en az üç tane termodinamik özellikten ikisi, genellikle, toplam basınç (barometre basıncı) ve kuru termometre sıcaklığıdır. Üçüncü ölçülebilen özellik, ya yaş termometre sıcaklığı veya çiy noktası sıcaklığıdır. Su buharı tabloları aracılığıyla, nemli havadaki su buharının kısmi basıncını verecek olsa da, çiy noktası sıcaklığının duyarlı olarak belirlenmesi uygulama açısından zordur.

Yukarıda anlatılan tüm termodinamik ve psikrometrik özellikler, düzlemde parametrik eğrilerin gösterimi anlayışına uygun olarak, psikrometrik çizelge üzerinde belirtilebilirler. Nemli havanın analizi için gerekli işlemlerin de bu çizelge üzerinden izlenmesi mümkündür. Bu çizelgelerin, 101.325 kPa'lık standart atmosfer basıncı için hazırlanmış olması gerekir. Değişik düzenlemelere sahip olanları olmasına rağmen, en çok kullanılanları, yatay eksende kuru termometre sıcaklığının (T_{kuru}), dikey eksende ise özgül nem'in (ω) yer aldığı çizelgelerdir. Yukarıda sıralanan ve çizelgede yer alan psikrometrik özelliklerden herhangi ikisi verilmişken diğer özelliklere, verilen iki değerle elde edilmiş bulunan noktadan hareketle, bu çizelge kullanılarak ulaşılabilir. Yine, değişik iklimlendirme işlemleri, söz konusu işleme ait noktalar kullanılarak tanımlanabilir ve çizelge üzerinde gösterilebilir.

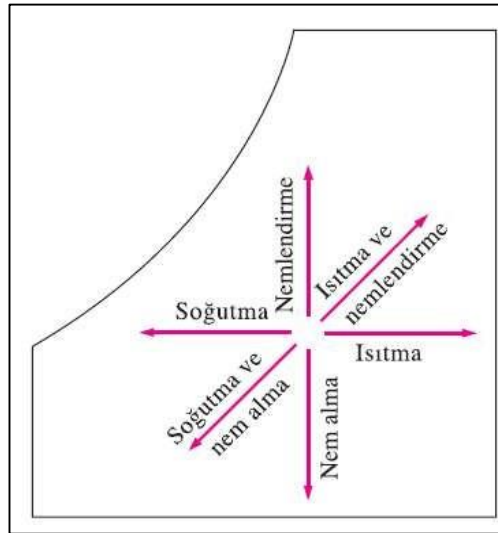


Şekil 4. Psikrometrik diyagram eğrilerinin gösterimi

İklimlendirme İşlemleri

Yaşanılan bir ortamı ya da endüstriyel bir tesisi istenilen sıcaklık ve nemde tutabilmek için iklimlendirme adı verilen işlemlere gerek duyulur. Bu işlemler duyulur ısıtma (sıcaklığın yükseltilmesi), duyulur soğutma (sıcaklığın düşürülmesi), nemlendirme (su buharının eklenmesi) ve nem alma (su buharının havadan ayrılması). Havayı istenen sıcaklık ve nem düzeyine getirmek için bazen bu işlemlerden birkaçının bir arada uygulanmasını gerektirir.

Değişik iklimlendirme işlemleri Şekil 5 'de sunulan psikrometrik diyagram üzerinde gösterilmiştir. Duyulur ısıtma ve duyulur soğutma işlemleri sırasında havadaki nem miktarı sabit ($\omega = \text{sabit}$) olduğundan diyagramda bu işlemler yatay birer doğru olarak görülür. Hava kış aylarında ısıtılır ve nemlendirilirken, yaz aylarında soğutulur ve nemi alınır. Bu işlemlerin psikrometrik diyagramda nasıl gösterilebileceğinin incelenmesinde fayda bulunmaktadır.

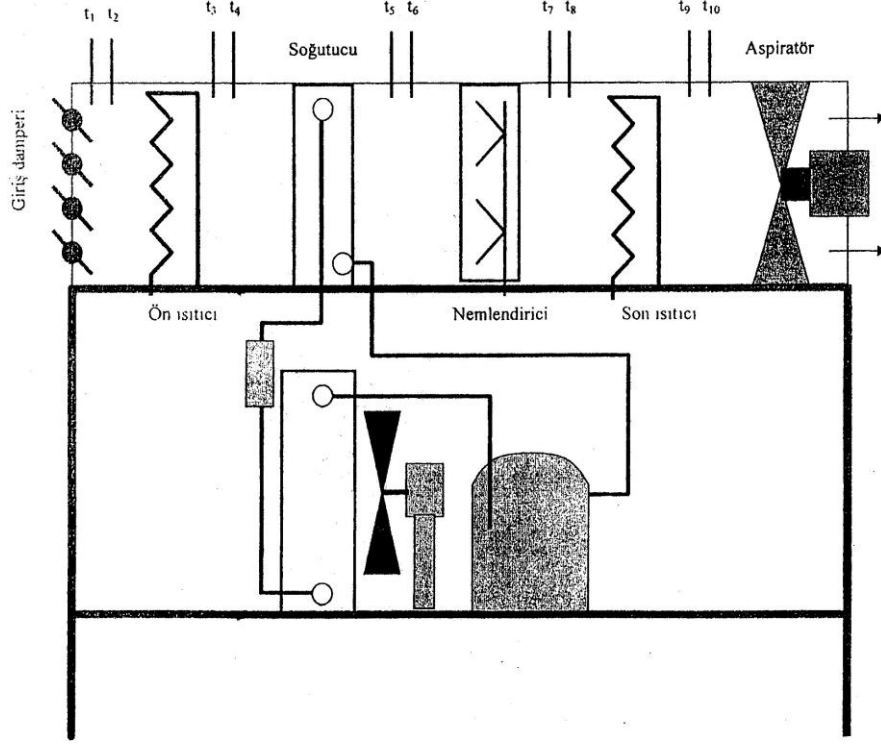


Şekil 5. İklimlendirme işlemlerinin psikrometrik diyagramda gösterimi

3. Deney cihazının tanıtılması

İklimlendirme cihazı, esas olarak bir hava kanalı ve bu kanalın içerisine yerleştirilmiş hava şartlandırma birimlerinden oluşmaktadır. Cihazın şematik görünümü Şekil 6'da verilmiştir. Kanalda şartlandırılacak hava bir aspiratör aracılığıyla ortamdan çekilir ve kanala basılır. Kanalda sırayla ısıtma, soğutma ve nemlendirme ünitesi bulunmaktadır. Ölçme açısından cihazın en önemli elemanları sıcaklık ölçme amaçlı yerleştirilen yaş ve kuru termometrelerdir. Kuru termometre, geleneksel olarak bir sıvılı termometrenin haznesinin durağan veya akım

halindeki havaya tutularak sıcaklık ölçme amaçlı kullanılır. Yaş termometre ise haznesi bir fitille örtülerek ve fitilin de sürekli ıslak kalması sağlanarak, yalnızca hava akımının yaş termometre sıcaklığının ölçülmesinde kullanılır.



Şekil 6. Deney tesisatının şematik gösterimi

4. Deneysel Sonuçlar Ve Hesaplamalar

Psikrometrik diyagramda okunan değerler Ek-1’de yer alan diyagram üzerinde gösterilecektir.

Çizelge 1. Deney Sonuçları ve Hesaplamalar

Nokta	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem	Özgül Nem (g/kg kuru hava)	Entalpi (kJ/kg kuru hava)	Özgül Hacim (m ³ /kg kuru hava)	Çiğ Noktası Sıcaklığı (° C)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

5. Rapor Yazım Formatı ve İstenen Bilgiler

Deney raporu hazırlanırken aşağıdaki format esas alınacaktır.

Rapor Formatı

Kapak: Bilgisayar ortamında hazırlanmış föyünüzde bulunan format ile aynı olmalıdır.

Amaç: Kendi yorumunuzla yazınız.

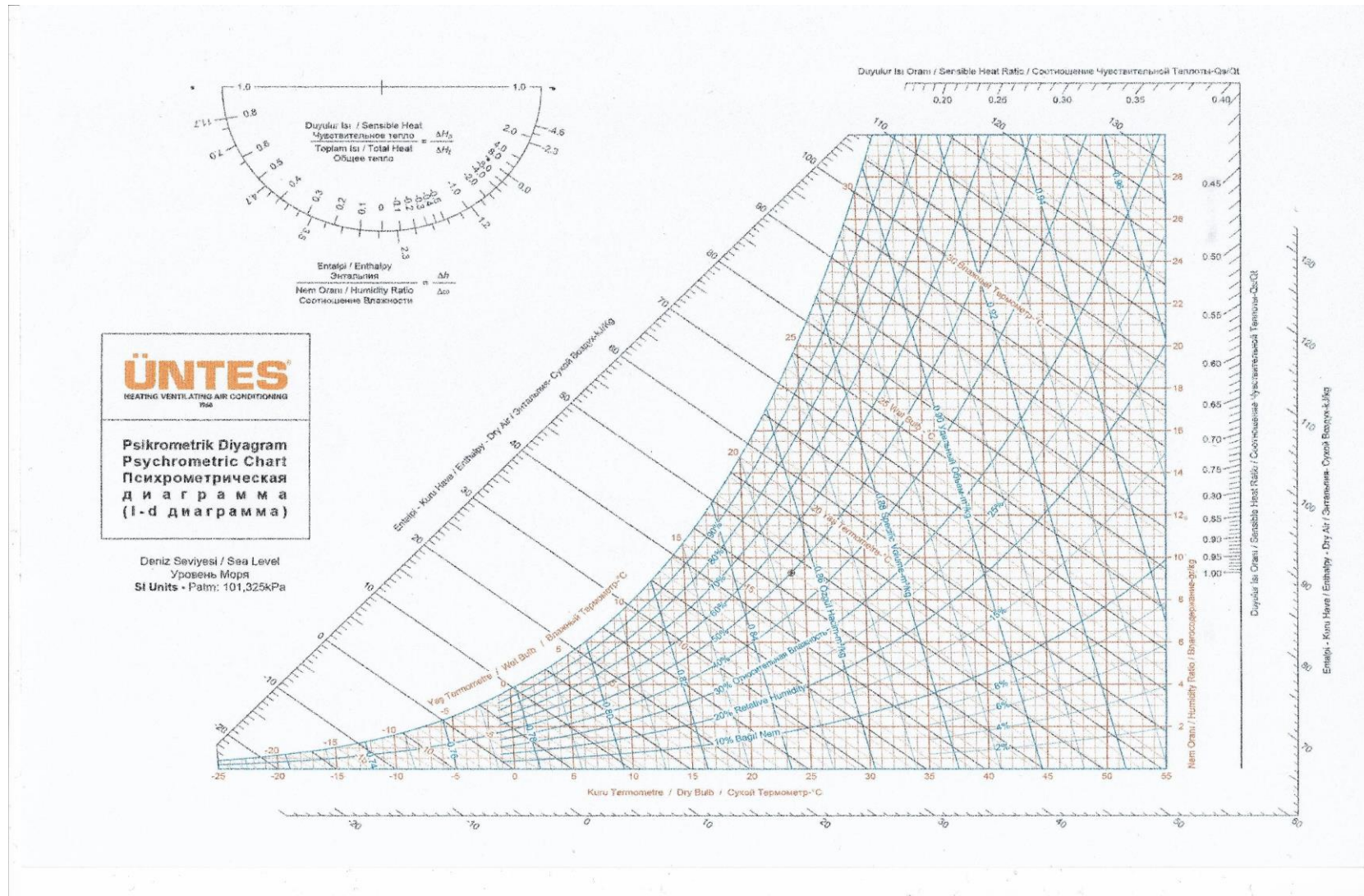
Teorik Bilgiler: Atmosferik hava, kuru hava tanımlanmalıdır. Atmosferik hava ideal gaz olarak kabul edilir mi? Açıklayınız.

Deney Düzeneği ve Uygulanması: Deney düzeneğinin şematik olarak çizimi, tüm elemanların tanıtılması(detaylı olarak anlatım) ve deneyin uygulanmasının anlatılması(maddeler halinde).

Deneysel Ölçümler ve Hesaplamalar: Föyünüzde yer alan çizelgenin doldurulması, ölçümü yapılan deney sonucunun psikrometrik diyagram üzerinde gösterilmesi.

Sonuç ve Tartışma: Yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin yorumlanması ve ilk başta belirlediğimiz hedeflere ulaşp ulaşılmadığı, neden bu hedeflere ulaşılmadığı, belirlenen hedeflere ulaşmak için deneyin nasıl yapılması gerektiği ile ilgili özgün yorumlarınızdan oluşmalıdır. (Aynı yorumları yazmaktan kaçınınız.)

EK:1 Psikrometrik Diyagram



2.7. SERİ/PARALEL SANTRİFÜJ POMPA DENEYİ

1. DENEYİN AMACI

Deneyin amacı, santrifüj pompaların tanınması, tek çalışma, seri bağlı çalışma ve paralel bağlı çalışma durumları için pompa karakteristik özelliklerin belirlenmesidir.

2. GENEL BİLGİLER

Pompa, sıvıları taşımak için kullanılan mekanik bir aygıttır. Diğer bir deyişle, pompalar sıvıların enerjisini veya basıncını artıran makinelerdir. Pompalar sıvıyı düşük basınçtan-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. Dolayısıyla pompaların 3 ana görevi vardır.

- 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)

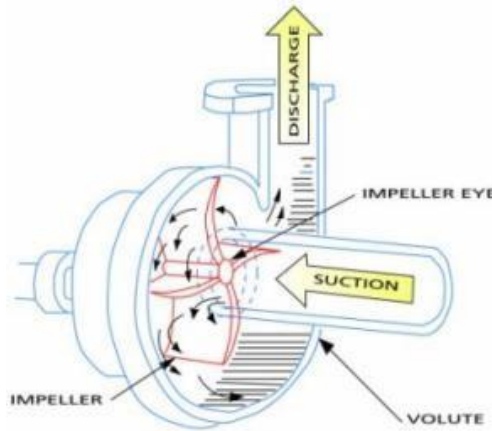
Pompaların büyüklükleri bazı karakteristikleri ile tanımlanır. Pompa karakteristikleri; kapasite (debi), emme basıncı ve basma basıncıdır. Pompaları genel olarak iki ana grupta toplamak mümkündür.

1. Pozitif yer değiştirmeli (Hacimsel) Pompalar: Hacimsel pompalarda sıvıya enerji aktarılmasında ana prensip, kapalı bir hacim içerisindeki sıvının, hacmin daraltılması yoluyla statik basıncının artırılmasıyla gerçekleşir.
2. Pozitif olmayan yer değiştirmeli (Rotodinamik) Pompalar: Rotodinamik pompalar, akışkana hızlı hareket eden kanatlar ya da özel tasarlanmış belirli düzenekler aracılığı ile momentum kazandırır. 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 aşağıdaki gibi sınıflandırılır;

- Merkezkaç (santrifüj) ya da radyal akışlı pompalar
- Tam aksenel pompalar
- Yarı aksenel pompalar

Bu deney düzeneğinde yer alan pompalar santrifüj tip pompalardır. Basit çalışma prensibi ve nispeten ucuz üretim maliyeti nedeniyle, santrifüj pompaları dünyanın en çok kullanılan pompa tipidir. Bir cisim kendi eksenini 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 kuvvetidir. Santrifüj pompaların çalışması bu prensibe dayanır.

Bir santrifüj pompada sıvının izlediği yol şu şekildedir. Çarkın emiş tarafında meydana gelen vakum nedeniyle sıvı çarkın kanatları arasına girer. Çark kanatları arasından geçen sıvı, çarkın dönüş hareketleriyle büyük teğetsel bir hız kazanır. Çark kanatları ile çarkın ön ve arka profili tarafından sınırlanan kanallar arasında sıvı, çarkın çıkış tarafına doğru dönme hareketi esnasında meydana gelen santrifüj (merkezkaç) kuvvet etkisiyle itilir. Bu şekilde oluşan hareket, sıvının devamlı akışını ve pompanın emme tarafından emişini sağlar. Çark kanatları büyük bir teğetsel hızla terk eden sıvının içerdiği kinetik enerji, sabit difüzör kanatları arasında salyangoz boşluğunda basınç kuvvetine çevrilir. Santrifüj bir pompanın şematik gösterimi Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Santrifüj pompanın şematik gösterimi

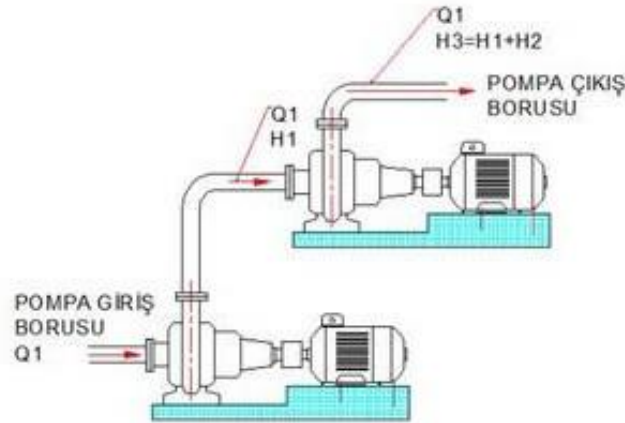
2.1. Pompa Karakteristik Eğrileri

Bir pompanın sabit devir sayısında dolaştırabildiği su miktarı (debi) ile basma yüksekliği arasındaki ilişkiyi gösteren eğriye pompa karakteristik eğrisi denir. Pompa seçimi yapılırken bu karakteristik eğrilerden yararlanılır. Bazı durumlarda daha büyük pompa seçmek yerine iki küçük pompayı paralel veya seri bağlayarak istenilen karakteristiği elde etmek mümkündür. Pompalar düşük basma yüksekliğinde fazla debi elde etmek için; düşük debide fazla basma yüksekliği elde etmek için seri olarak bağlanır. Pompa karakteristikleri devir sayısına bağlıdır. Devir sayısını değiştirerek farklı karakteristikler elde etmek mümkündür. Buna göre;

- Pompa debisi devir sayısı ile orantılı olarak artar.
- Pompa basma yüksekliği devir sayısının karesi ile orantılı olarak artar.
- Pompa güç ihtiyacı devir sayısının küpü ile orantılı olarak artar.

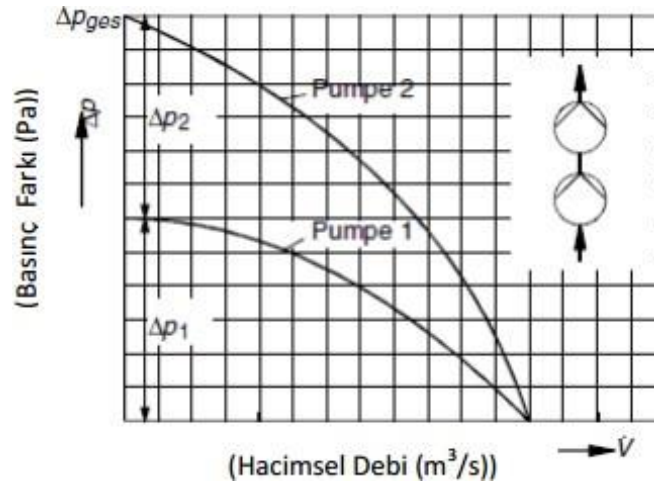
2.2. Pompaların Seri Bağlanması

İki pompanın seri bir şekilde bağlanmasının anlamı debinin bir pompadan diğer bir pompaya boruyla iletimi şeklinde açıklanabilir. Bu tip düzeneklerde akışkanın bir pompadan diğerine geçişiyle suya daha çok enerji kazandırılır.



Şekil 2. Pompaların seri bağlanması

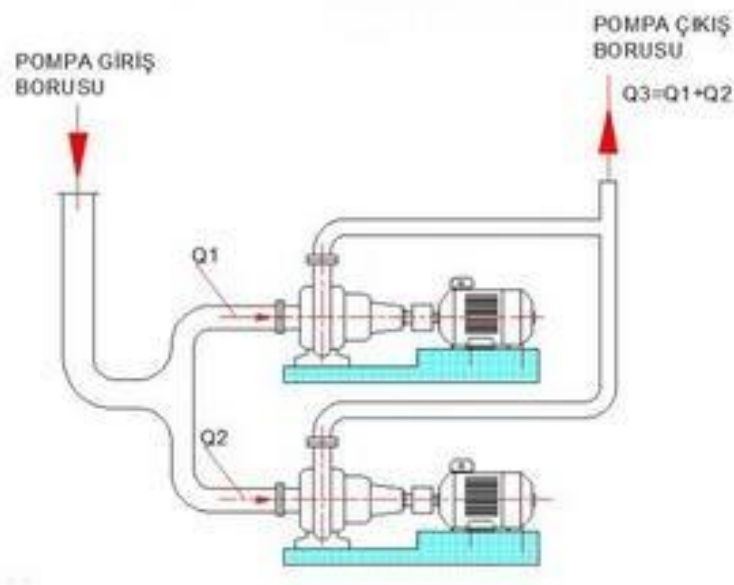
Seri bağlı pompalarda, genel beklenti, debinin sabit, basıncın artması yönündedir. Fakat bu artışın doğrusal olmayabileceği hususu göz önünde tutulmalıdır.



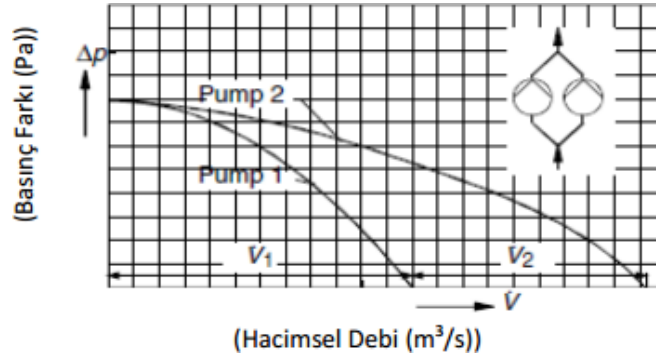
Şekil 3. Pompaların seri bağlanması halinde karakteristik eğri

2.3. Pompaların Paralel Bağlanması

Şekilde paralel bağlanmış iki pompa görülmektedir. Bu düzenlemenin bir örneği tek bir su kaynağından iki veya daha fazla pompa ile su çekilmesi ve tüm debinin tek bir borudan geçirilmesi şeklinde açıklanabilir. Paralel düzenlemeler değişken debi gereksinimlerinin karşılandığı sistemlerdir. Paralel bağlı pompalarda, genel beklenti, basıncın sabit debinin artması yönündedir. Fakat bu artışın doğrusal olmayabileceği hususu göz önünde tutulmalıdır.



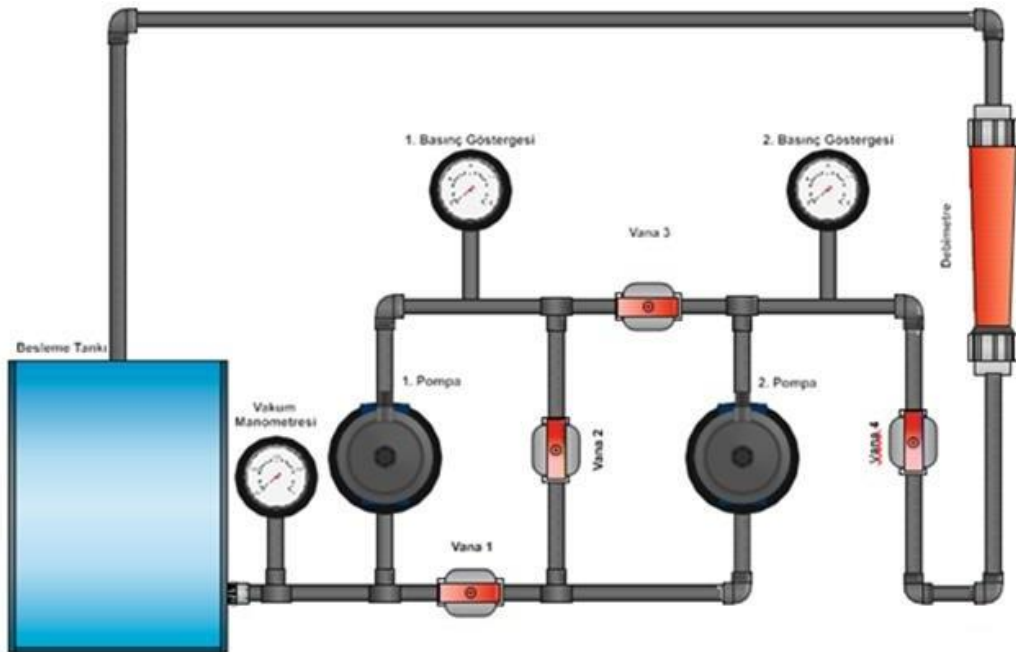
Şekil 4. Pompaların Paralel Bağlanması



Şekil 5. Pompaların paralel bağlanması halinde karakteristik eğri

3. DENEY DÜZENEGİNİN TANITIMI

Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 6’da, fotoğrafı ise Şekil 7’de verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere deney düzeneği 2 adet 1 HP (0,75 kW)’lık santrifüj pompa, 4 adet vana, rotametre tipi su debimetresi, vakum (emme) basınç manometresi, 2 adet basma basınç manometresi, su tankı, voltmetre, ampermetre, çeşitli boru elemanları ve 3 adet şalterden oluşmaktadır.



Şekil 6. Deney düzeneğinin şematik gösterimi



Şekil 7. Deney düzeneğinin fotoğrafı

Deney düzeneğinin yardımcı elemanları

- Vana: Boru içinde bir yerden bir yere taşınan bir akışkanın akışını ayarlamaya, durdurmaya, durmuş akışı başlatmaya ya da akışkanın debisini artırmaya yarayan elemandır.
- Debitmetre: Sıvı akışını tespit etmek için kullanılan elemandır.
- Manometre: Kapalı kaptaki akışkanın basıncını ölçmeye yarayan elemandır.
- Su tankı: Borular vasıtasıyla pompalara gerekli olan akışkanı depolayan elemandır.
- Voltmetre: Şebekeden gelen gerilimi ölçmeye yarayan cihazdır.
- Ampermetre: Devreden geçen akımın şiddetini ölçmek için kullanılan cihazdır.
- Boru: Deney düzeneğinde kullanılacak olan akışkanı gerekli kısımlara ileten elemandır.
- Şalter: Devredeki elektrik akımını kapatıp açmaya yarayan elemandır.

Çizelge 1. Pompaların Teknik özellikleri

Pompa 1	Pompa 2
HP : 1	HP : 1
220V / 50Hz / 1 phase	220V / 50Hz / 1 phase
H. Max: 22 m	H. Max: 16 m
Q. Max: 275 L/min	Q. Max: 100 L/min
2850 r/min	2850 r/min

4. GENEL HESAPLAMALAR

4.1. Pompa Veriminin Bulunması Hesabı

Verim (η): Bir pompanın verimi oluşturulan akışkan gücü ile pompa giriş gücünün oranıdır.

Bu aşağıdaki formülle tanımlanır.

$$\eta = \frac{\text{akışkan gücü}}{\text{giriş gücü}}$$

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot g \cdot H_m}{V_m \cdot I_m \cdot \cos \phi}$$

$\dot{m}$: Suyun kütleli debisi [kg/s]

g : Yer çekim ivmesi 9,81 [m/s²]

H : Basma yüksekliği [mSS]

V_m : Motor voltajı [V]

I_m : Motorun çektiği akım [A]

$\cos \phi$: Motorun güç katsayısı (0,98 olarak alınabilir)

4.2. Pompa Özgül Hızının Bulunması Hesabı

Belli bir pompa çarkının 1 m basma yüksekliğinde, 1 m³/s debi için gereken dakikadaki devir sayısına özgül hız denir. Özgül hız aynı zamanda pompa çarkının biçimini de belirler. Pratikte her pompa çark tipinin verimli çalışabileceği bir çalışma bölgesi vardır. Bu bölgelerin seçimi, basınç ve debinin bileşkesi olarak ifade edilen bir formül ile ifade edilir:

$$n_s = \frac{n \sqrt{Q}}{H_m^{0,75}}$$

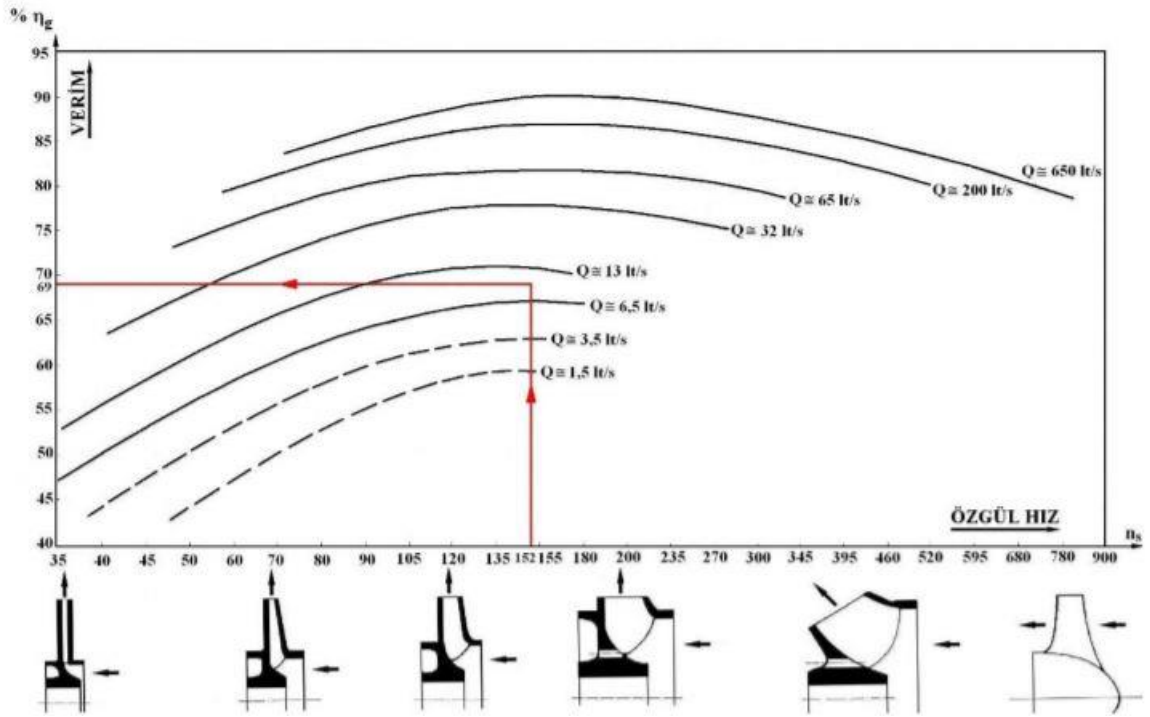
n : Devir sayısı [d/dk]

Q : Hacimsel debi [l/s]

H_m : Basma yüksekliği [mSS]

n_s : Özgül hız

Özgül hız herhangi bir çalışma noktasında hesaplanabilir, ancak karşılaştırma için en yüksek verim noktası esas alınır. En yüksek verim noktasında tüm benzer çarklar aynı özgül hıza sahiptir.



Şekil 8. Pompa genel veriminin özgül hız ve debiye göre değişimi (Baysal, 1975)

4.3. Pompa ENPKY (Emmedeki Net Pozitif Kullanışlı Yük) Bulunması Hesabı (NPSHa)

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

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

ENPKY: Emmedeki net pozitif kullanılabilir yük

p_i : Pompa girişindeki mutlak basınç (Pa)

p_v : Sıvının mutlak buharlaşma basıncı (Pa)

ρ : Sıvının yoğunluğu (kg/m³)

Not: $P_{mutlak} = P_{gösterge} + P_{atm}$

5. DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneyler, bir pompanın tek başına çalışma durumu, iki pompanın seri bağlı çalışması durumu ve iki pompanın paralel bağlı çalışması durumları için 3 farklı aşamada yapılacaktır. Bu kapsamda, deney düzeneği aracılığı ile 6 farklı deney yapılacaktır.

Sistemde tek pompa çalışır vaziyette iken Deney 1, Deney 2 ve Deney 3 gerçekleştirilecektir.

- **Deney 1** kapsamında farklı çalışma şartlarında basma yüksekliği-debi grafiği çizilmesi amaçlanmaktadır. Bu deney manometreden okunan basınç ve şamandıralı tip debimetreden okunan debi vasıtasıyla gerçekleştirilecektir.
- **Deney 2** kapsamında farklı çalışma şartlarında pompa veriminin bulunması amaçlanmaktadır. Pompa verim hesabı kullanılarak sistem üzerinden çeşitli debi aralıklarında okunan debi, basınç, volt ve amper gibi değerlerden verim hesaplanarak debi-verim grafiği oluşturulacaktır.
- **Deney 3** kapsamında farklı çalışma şartlarında pompa özgül hızının bulunması amaçlanmaktadır. Özgül hız hesabı kullanılarak sistem üzerinden çeşitli debi aralıklarında alınan debi, basınç gibi değerler kullanılarak özgül hız hesaplanarak özgül hız-debi grafiği oluşturulacaktır.

Sistemde pompalar seri bağlı vaziyette çalışıyor iken Deney 4 ve Deney 5 gerçekleştirilecektir.

- **Deney 4** kapsamında farklı çalışma şartlarında ENKPY değerinin bulunması amaçlanmaktadır. ENKPY hesabı kullanılarak sistem üzerinden çeşitli debi aralıklarında vakum manometresinden okunan değer ve her bir çalışma parametresi için okunan sıcaklık değeri için buharlaşma basıncı okunarak, ENKPY değeri hesaplanarak ENKPY-debi grafiği çizilecektir.
- **Deney 5** kapsamında seri bağlı çalışma düzeninde basma yüksekliği-debi grafiği çizilmesi amaçlanmaktadır. Sistemdeki ölçme aletlerinden olan manometreden okunan basınç ve şamandıralı tip debimetreden okunan debi vasıtasıyla gerçekleştirilecektir.

Sistemde pompalar paralel bağlı durumda çalışırken Deney 6 gerçekleştirilecektir.

- **Deney 6** kapsamında paralel bağlı çalışma düzeninde basma yüksekliği-debi grafiği çizilmesi amaçlanmaktadır, sistemdeki lme aletlerinden olan manometreden okunan basınç ve şamandıralı tip debimetreden okunan debi vasıtasıyla gerçekleştirilecektir.

Deney düzeneğinin kullanımı

- Deney setinde pompaların akımları ve şebekeden çektikleri voltaj ölçülür.
- Düzenekte seri bağlantı olması için Vana 2 açık olmalı, Vana 1 ve Vana 3 kapalı olmalıdır.
- Paralel bağlantı olması için Vana 1 ve Vana 3 açık olmalı, Vana 2 kapalı olmalıdır.
- Yapılacak tüm deneyler için Vana 4 ile basma yüksekliği deęiřtirilebilmektedir.

Deney raporlarının hazırlanışı

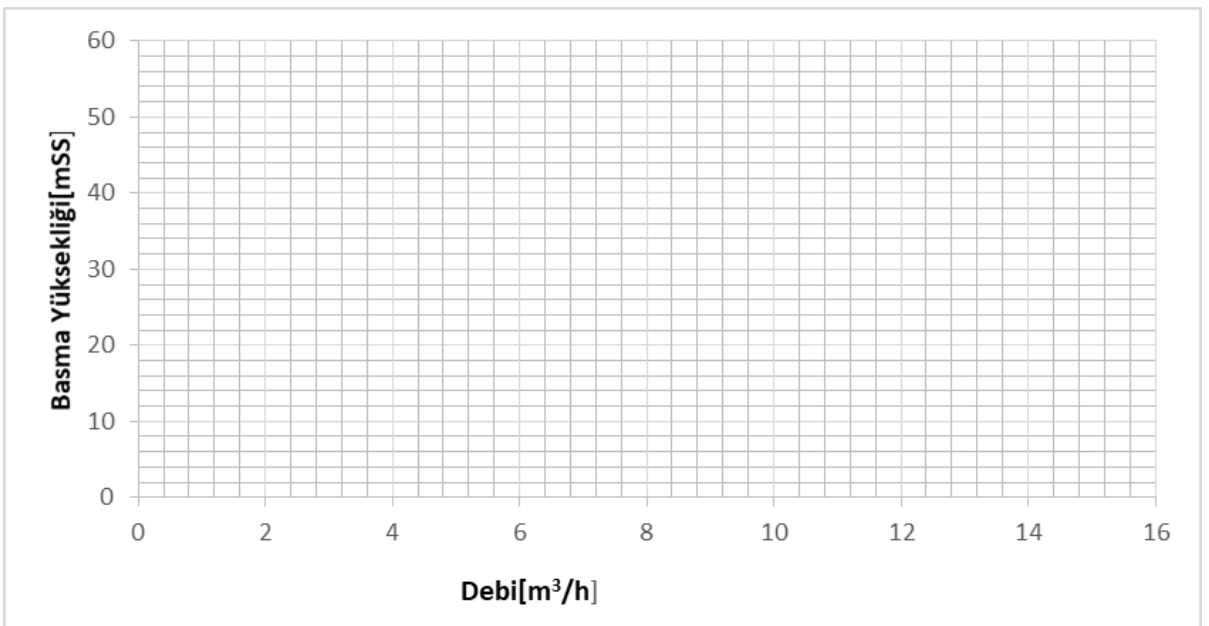
Yapılacak olan 6 adet farklı deneyin her bir için ayrı ayrı olmak üzere deney no, deneyin adı ve amacı, tablo değerleri, hesaplamaları, karakteristik eğrileri, yorum ve sonuç içerecek şekilde hazırlanmalıdır.

DENEY 1: Pompa Basma Yüksekliği-Debi İlişkisi (Karakteristik Eğri)

Deneyin yapılışında aşağıdaki sıralama takip edilecektir.

- Çalıştırmadan önce tankın içinde su olduğundan emin olunuz.
- 1 ve 2 numaralı vanalar tam kapalı, 3 ve 4 numaralı vanaları tam açık konuma getiriniz.
- Ana şalteri açarak, 1 numaralı düğme yardımıyla 1. pompayı çalıştırınız.
- Debi düşürülerek basma yüksekliği 2 numaralı göstergeden okunacak ve değerler aşağıdaki tabloya kaydedilecektir.
- Su akışı tamamen kesildiğinde pompanın basma yüksekliği maksimum olacaktır.
- Tablo değerlerini aşağıdaki grafiğe aktarınız.

Ölçüm Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Basma yüksekliği [mSS]										
Debi [m ³ /h]										

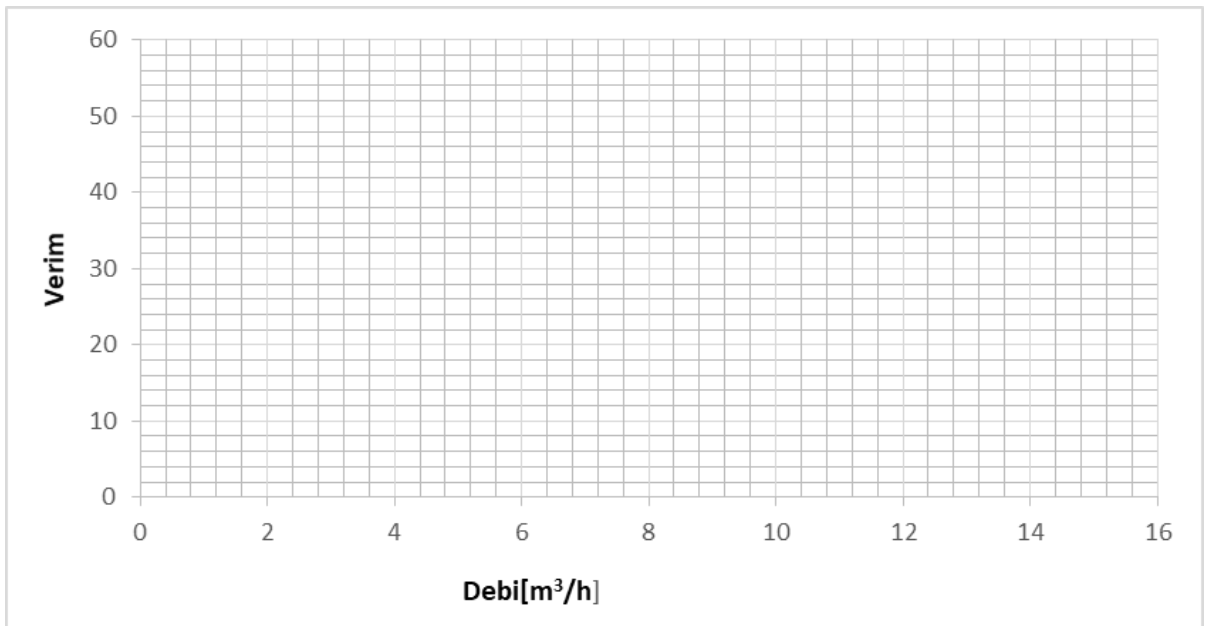


DENEY 2: Pompa Veriminin Bulunması

Deneyin yapılışında aşığıdaki sıralama takip edilecektir.

- Çalıştırmadan önce tankın içinde su olduğundan emin olunuz.
- 1 ve 2 numaralı vanalar tam kapalı, 3 ve 4 numaralı vanaları tam açık konuma getiriniz.
- Ana şalteri açarak, 1 numaralı düğme yardımıyla 1. pompayı çalıştırın.
- Devir sayısı sabit kabul edilerek 2850 dev/dak alınacaktır.
- Tablo değerleri kullanılarak verimi hesaplayınız.
- Tablo değerlerini aşığıdaki grafiğe aktarınız.

Ölçülen özellik/ölçüm sayısı	1	2	3
Basma yüksekliği, H [mSS]			
Debi, $\dot{Q}$ [m ³ /h]			
Motor akımı, I_m [A]			
Motor voltoji, V_m [V]			
$\cos\Phi$			



DENEY 3: Pompa Özgöl Hızının Bulunması

Deneyin yapılışında aşğıdaki sıralama takip edilecektir.

- a) Çalıştırmadan önce tankın içinde su olduğundan emin olun.
- b) 1 ve 2 numaralı vanalar tam kapalı, 3 ve 4 numaralı vanaları tam açık konuma getirin.
- c) Ana şalteri açarak, 1 numaralı düğme yardımıyla 1. pompayı çalıştırın.
- d) Devir sayısı sabit kabul edilerek 2850 dev/dak alınız.
- e) Tablo değerlerini ilgili formülde yerine koyup özgöl hızı hesaplayınız.

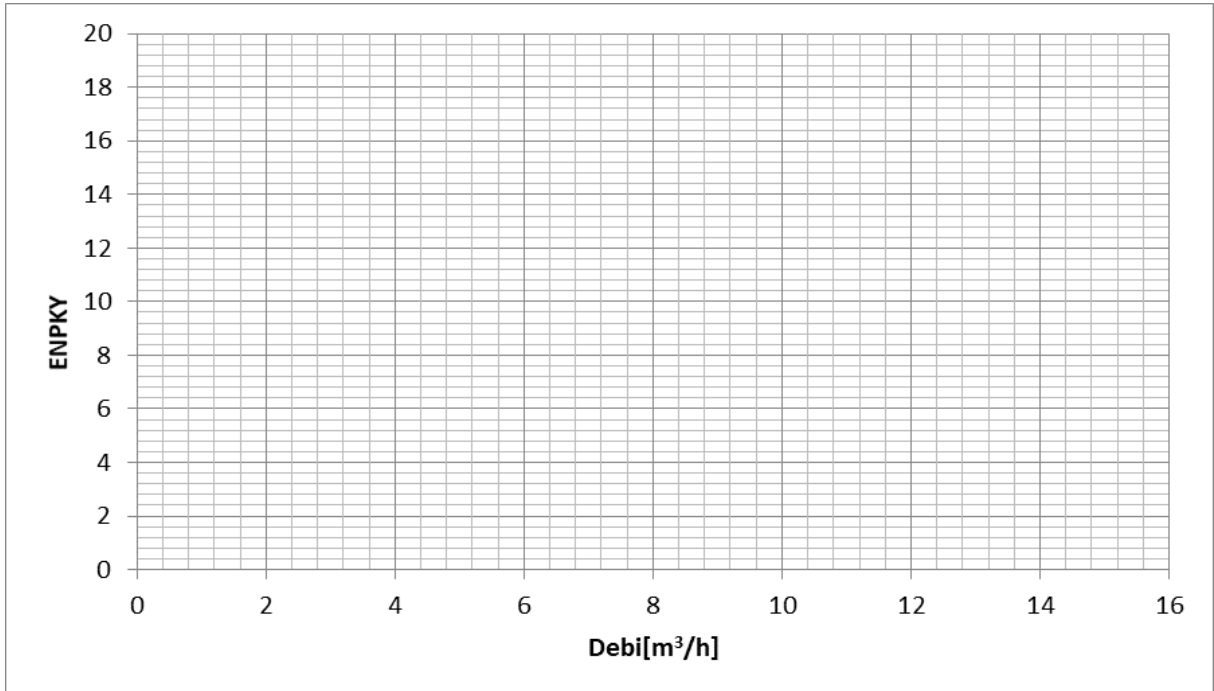
Ölçülen özellik/ölçüm sayısı	1	2	3	4	5
Basma yüksekliği, H [mSS]					
Debi, $\dot{Q}$ [m ³ /h]					
Özgöl Hız					

DENEY 4: Pompa ENPKY Değerlerinin Bulunması (Seri Bağlı)

Deneyin yapılışında aşağıdaki sıralama takip edilecektir.

- Çalıştırmadan önce tankın içinde su olduğundan emin olunuz
- 1 ve 3 numaralı vanalar tam kapalı, 2 ve 4 numaralı vanaları tam açık konuma getiriniz
- Ana şalteri açarak, her iki pompayı da çalıştırınız
- Vakum göstergesinden vakum değerini kPa olarak tabloya kaydediniz
- Suyun bu basınçtaki buharlaşma basıncını ekteki tablodan okuyup aşağıdaki tabloya kaydediniz
- ENPKY değerini ilgili formül yardımıyla hesaplayınız
- Tablo değerlerini aşağıdaki grafiğe aktarınız.

Ölçülen özellik/ölçüm sayısı	1	2	3
Debi[m ³ /h]			
Emme hattı gösterge basıncı [kPa]			
Emme hattı mutlak basıncı [kPa]			
Suyun buharlaşma basıncı [kPa]			
Su hazne sıcaklığı [°C]			
ENPKY [mSS]			

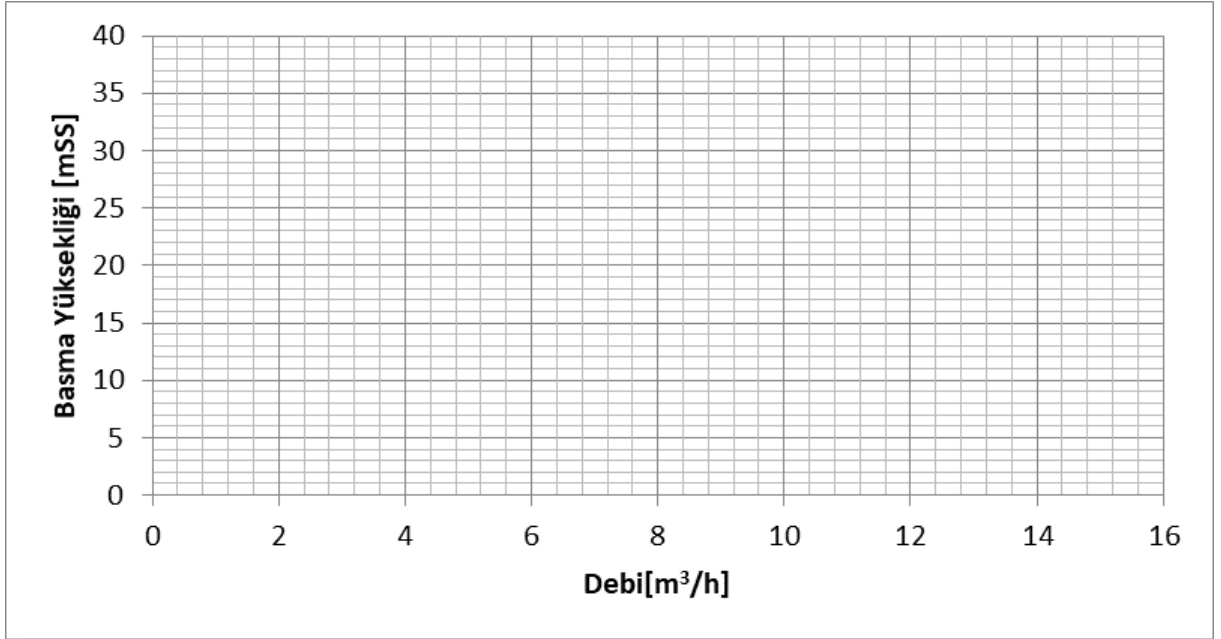


DENEY 5: Seri Pompa Karakteristik Eğrisinin Çizilmesi

Deneyin yapılışında aşağıdaki sıralama takip edilecektir.

- Çalıştırmadan önce tankın içinde su olduğundan emin olunuz.
- 1 ve 3 numaralı vanalar tam kapalı, 2 ve 4 numaralı vanaları tam açık konuma getiriniz.
- Ana şalteri açarak, her iki pompayı da çalıştırınız.
- Tablo değerlerini aşağıdaki grafiğe aktarıp seri pompa karakteristik eğrisini çizin.

Ölçülen özellik/ölçüm sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8
Basma yüksekliği [mSS]								
Debi [m^3/h]								

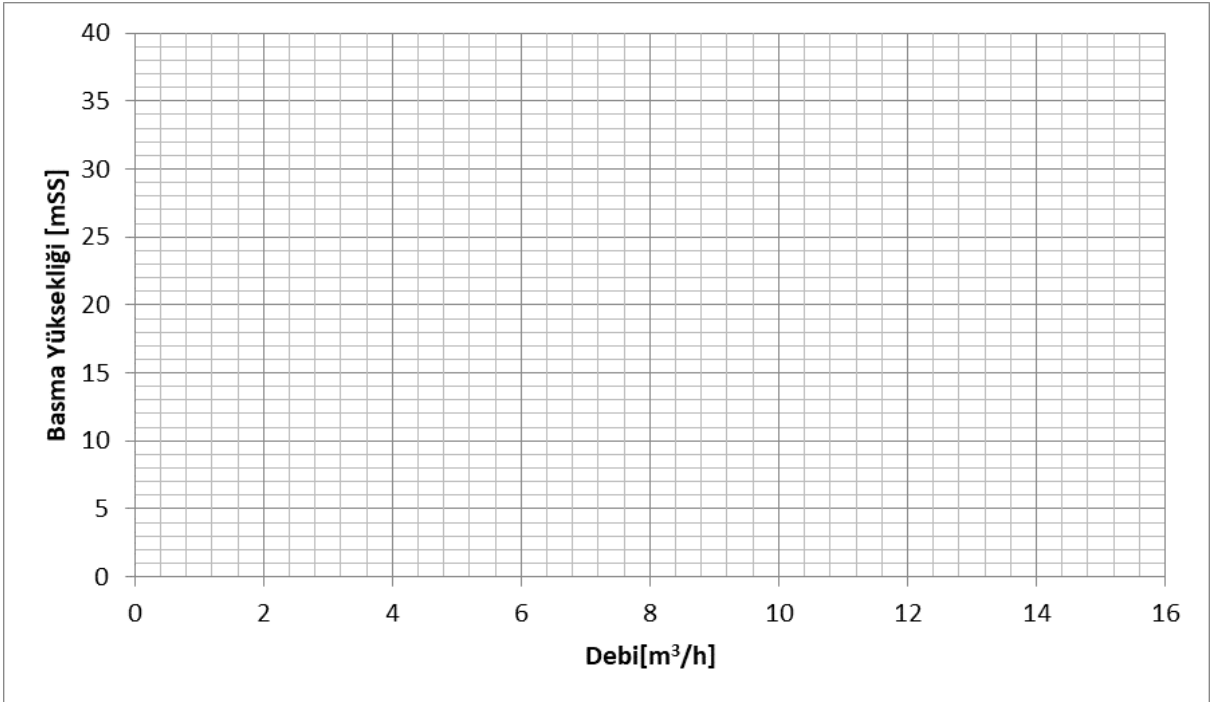


DENEY 6: Paralel Pompa Karakteristik Eğrisinin Çizimi

Deneyin yapılışında aşağıdaki sıralama takip edilecektir.

- Çalıştırmadan önce tankın içinde su olduğundan emin olun.
- 2 numaralı vanayı kapatıp diğerlerini açın.
- Ana şalteri açarak, her iki pompayı da çalıştırın.
- Tablo değerlerini aşağıdaki grafiğe aktarıp paralel pompa karakteristik eğrisini çizin.

Ölçülen özellik/ölçüm sayısı	1	2	3	4	5
Basma yüksekliği [mSS]					
Debi [m ³ /h]					



6. ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ HESABI

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2}$$

Verim değeri için sadece 1 ölçüm için ölçüm belirsizliği analizi yapınız. Ek 7.2’de parametrelerin belirsizliği verilmiştir.

7. EKLER

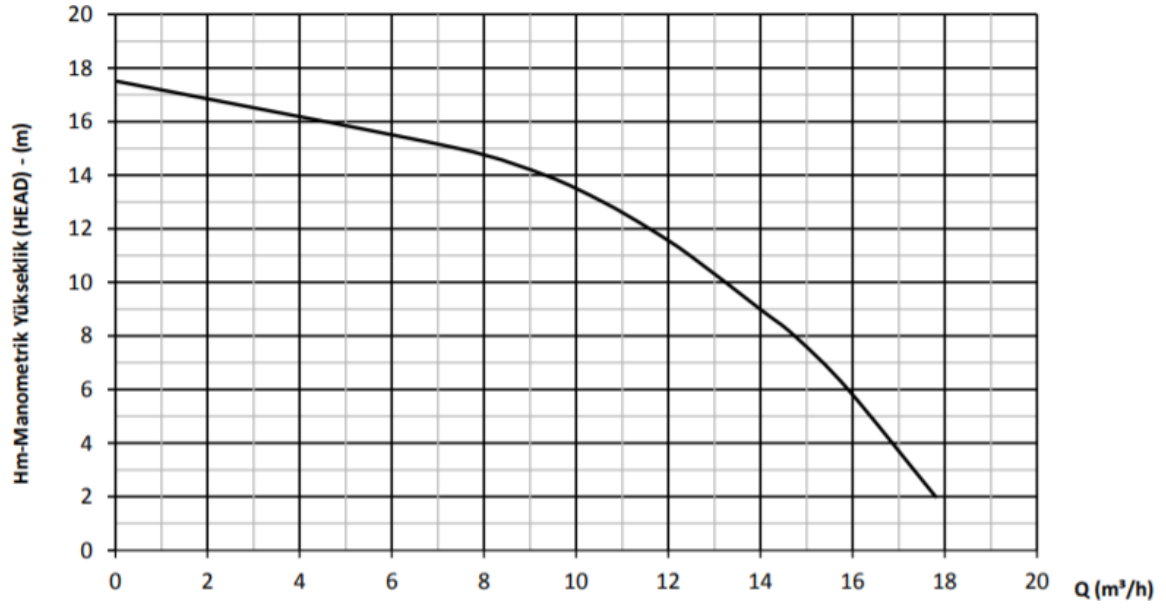
7.1. Su Buharlaşma Sıcaklığı –Buharlaşma Basıncı Tablosu

Buharlaşma Sıcaklığı T _b [°C]	Buharlaşma Basıncı P _b [kPa]	Buharlaşma Sıcaklığı T _b [°C]	Buharlaşma Basıncı P _b [kPa]	Buharlaşma Sıcaklığı T _b [°C]	Buharlaşma Basıncı P _b [kPa]
0	0,611	24	2,982	48	11,164
2	0,706	26	3,359	50	12,338
4	0,813	28	3,778	52	13,616
6	0,935	30	4,241	54	15,005
8	1,072	32	4,753	55	15,745
10	1,227	34	5,318	60	19,925
12	1,401	36	5,940	65	25,016
14	1,597	38	6,624	70	31,170
16	1,816	40	7,375	75	38,558
18	2,062	42	8,199	80	47,369
20	2,336	44	9,101	85	57,812
22	2,642	46	10,087	90	70,116

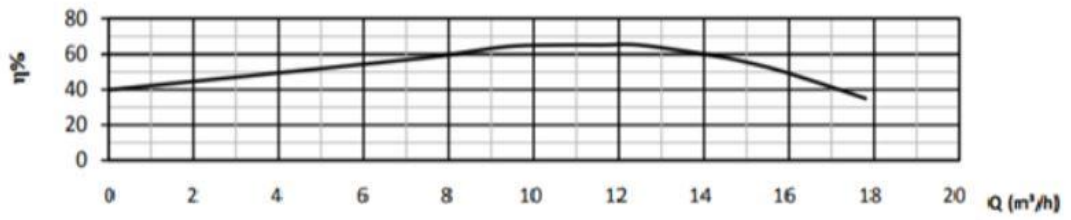
7.2. Deney düzeneğindeki parametrelerin belirsizliği

Değerler	Birim	Belirsizlik
Yoğunluk(ρ)	kg/m ³	± %0,03
Hacimsel Debi($\dot{V}$)	m ³ /s	± 3,33*10 ⁻⁵
Basma Yüksekliği	mSS	± %3
Volt	V	±2
Amper	I	±0,1

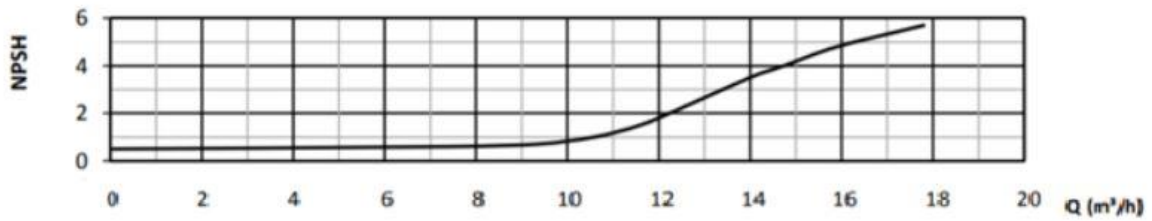
7.3. Pompa Katalog Eğrileri



Basma Yüksekliği – Debi Grafiği



Verim – Debi Grafiği



NPSH_r – Debi Grafiği

2.8. BASMA DENEYİ

1. Giriş ve Deneyin Amacı

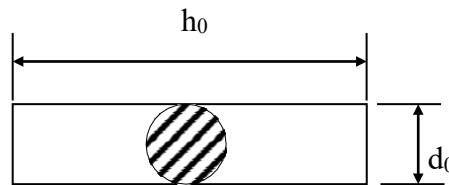
Mühendislik malzemelerinin çoğu, uygulanan gerilmeler altında biçimlerini kalıcı olarak değiştirirler, yani plastik şekil değişimine uğrarlar. Bu malzemelerin hangi koşullar altında ve ne zaman kalıcı şekil değişimine uğrayacaklarını bilmek önemlidir. Yapı elemanlarının veya makina parçalarının etkisinde bulundukları yükler altında biçimlerini değiştirmesi istenmez Basma deneyi, çekme deneyinin tersi olarak kabul edilebilir ve çekme-basma makinelerinde basma kuvveti uygulamak sureti ile yapılır. Basma kuvvetinin etkin olduğu yapılarda kullanılan gevrek malzemelerin, mukavemet değerleri basma deneyi ile belirlenir. Bu nedenle basma deneyinden elde edilen sonuçlar gevrek malzemelerle yapılan tasarımda doğrudan kullanılabilirler. Basma deneyinde genellikle dairesel veya kare kesitli numuneler kullanılır.

2. Deneyin Yapılışı

Basma deneyi, standartlara göre hazırlanan deney numunesinin (örnek), sabit sıcaklıkta ve tek ekseninde, belirli bir hızla, malzeme kırılncaya kadar (yük taşıyamaz duruma gelene kadar) basılması işlemidir. Basma makinalarında basma plakaları aracılığı ile basma numunesine yük uygulanır. Yük uygulanan plakaların alt ve üst yüzeyleri, numunenin düşey eksenine dik ve birbirine paralel olmalıdır. Basma deneyinde, numunenin kesiti sürekli arttığından, çekme deneyinde görülen boyun verme olayı meydana gelmez. Sünek malzemelerin basma deneyleri sırasında numunenin alt üst uçları ile basma plakaları arasındaki sürtünme kuvvetinden dolayı, fıçı olayı olarak adlandırılan şişme meydana gelir. Basma deneyine tabi tutulan sünek bir malzemedeki fıçı oluşumu Şekil 2’de gösterilmektedir.

Kopma uzaması ve kopma büzülmesi değerleri hemen hemen sıfır olan gevrek malzemelerin sünekliği çekme deneyi ile ölçülemez. Bu tür malzemelerin sünekliği basma deneyi ile ölçülür. Basma deneyinde çok küçük boyuttaki örnekler bile deneye tabi tutulabilir. Bu durum, deneye tabi tutulacak malzemelerin pahalı ve çok az olması durumunda yararlar sağlar.

Şekil 1.’de yuvarlak kesitli bir malzeme için basma numunesi örneği verilmiştir.



Şekil 1. Yuvarlak kesitli silindirik başlı basma örneği

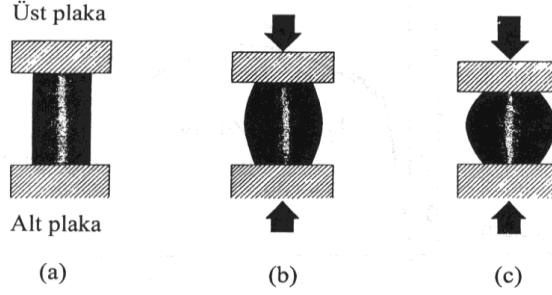
Burada,

d_0 : numune çapı

d : numunenin son çapı

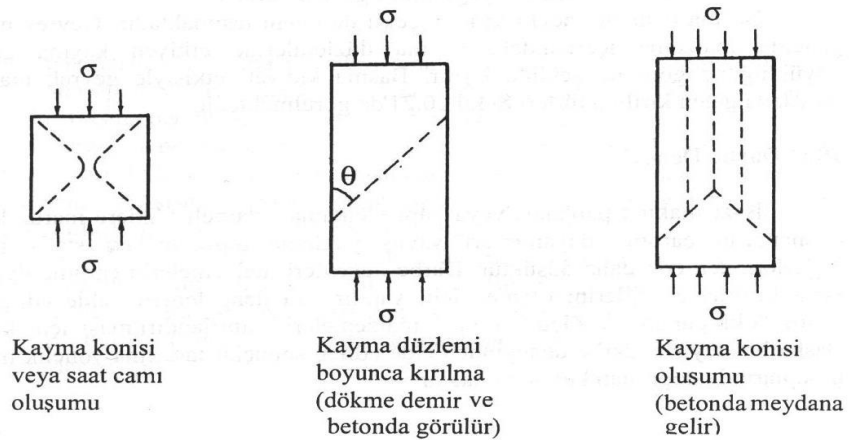
h_0 : numune yüksekliği $\approx 1.5d_0$

h : numunenin son yüksekliği olarak alınacaktır.



Şekil 2. Basma Kuvveti uygulanan sünek malzemelerdeki fiçı oluşumu; a) basma kuvveti yok, b) Basma kuvveti etkisiyle fiçı oluşumunun ilk aşaması, c) Fiçı oluşumunun tamamlanması

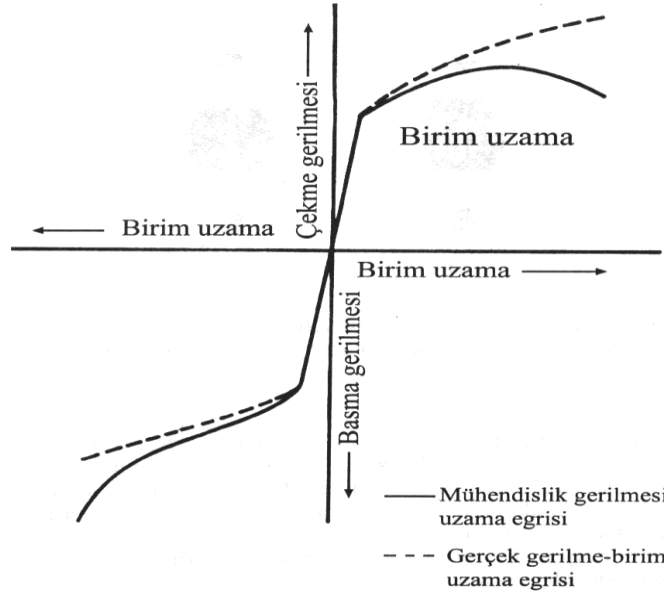
Basma deneyi sonucunda, malzemelerin basma diyagramı elde edilir. Basma diyagramı, genelde çekme diyagramına benzer. Basma diyagramının elastik deformasyonu gösteren kısmı çekme diyagramının elastik kısmı gibidir ve akma sınırından sonra, basma diyagramında da plastik deformasyon azalması meydana gelir. Basma diyagramında plastik deformasyonu gösteren kısmın ilk aşaması, çekme diyagramının plastik deformasyon bölgesinin ilk devresini andırır, ancak çekme diyagramında maksimum noktadan sonra gerilme değerinde bir azalma meydana gelirken, basma diyagramında gerilme artar. Yani basma eğrisinin eğiminde artış meydana gelir. Bu durum, basma sırasında numune kesitinin devamlı artmasından kaynaklanır. Özellikle plastik deformasyonun sonuna doğru numune kesiti büyük oranda arttığından, basma gerilmesinde de ani yükselme görülür. Şekil 4'te



metalik bir malzemenin çekme ve basma diyagramları görülmektedir.

Şekil 3. Gevrek malzemelerde basma etkisiyle meydana gelen kırılma türleri

Basma deneylerindeki kırılma şekli de önem taşımaktadır, Gevrek malzemeler, genelde malzeme içerisindeki kayma düzlemlerine etkiyen kayma gerilmesinin büyüklüğüne göre üç şekilde kırılır. Basma kuvveti etkisiyle gevrek malzemelerde meydana gelen kırılma şekilleri şekil 3’de görülmektedir,



Şekil 4. Metalik bir malzemenin çekme ve basma diyagramları

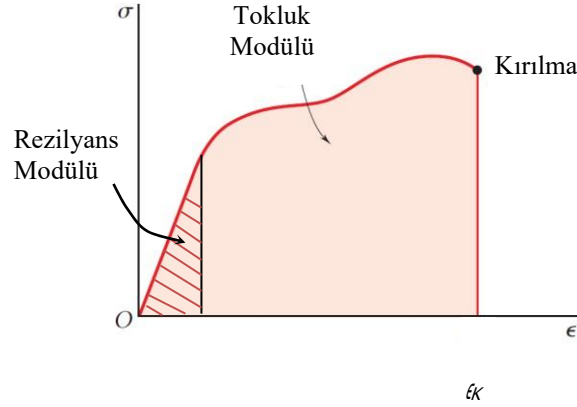
Basma deneyi sonucunda numunelerin temsil ettiği malzemeye ait aşağıda verilen mekanik özellikler belirlenebilir.

a) Akma Dayanımı (σ_a): Gerilmenin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşılık, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve basma diyagramının düzgünlük gösterdiği gerilme değeridir. Bu belirgin akma sınırı ancak bazı malzemelerde, örneğin düşük karbonlu yumuşak çelikte, deney şartlarına bağlı olarak görülebilir. Akma sınırının belirgin olmaması halinde bunun yerine, genellikle %0.2' lik elastik uzamaya ($\epsilon_{elastik} = 0.2$ veya $\epsilon_{elastik} = 0.002$) karşılık gelen gerilme $\sigma_{0.2}$ sınırı alınır.

b) Basma Dayanımı (σ_b): Bir malzemenin dağılmadan dayanabileceği en yüksek basma gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, basma diyagramındaki en yüksek gerilme olup, $\sigma_b = F_{max}/A_0$ formülü ile bulunur. Bu gerilmeye kadar numunenin kesiti her tarafta aynı oranda büyüdüğü halde özellikle plastik deformasyonun sonuna doğru numune kesiti büyük oranda artar ve daha büyük bir gerilmede numune kırılır.

c) Orantı Sınırı (σ_0): Gerilme ile birim uzama arasında $\sigma = E \cdot \epsilon$ bağıntısının (Hooke kanunu) geçerli olduğu doğrusal kısmı sınırlar. Bu bağıntıdaki orantı katsayısı E, elastiklik (katılık) modülü adını alır ve doğrunun eğimini gösterir. Ahşap, kauçuk ve deri gibi bazı malzemelerin $\sigma - \epsilon$ diyagramında böyle bir doğrusal bölge bulunmadığı için, sabit bir E değeri yerine ancak, belirli bir noktadaki teğetin eğimi söz konusu olur. Bir malzemenin elastiklik modülü ne kadar büyükse, rijitliği yani elastik şekil değiştirmeye karşı direnci de o oranda büyüktür. Bir malzemeye ait elastiklik modülü herhangi bir ısı veya mekanik işlem yardımıyla değiştirilemez.

d) Kopma Uzaması (K.U.): Basma örneğinin kopuncaya veya kırılıncaya kadar gösterdiği yüzde uzama miktarı olarak tanımlanır. Deney parçasının kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile ölçülen l_k ve $\Delta l_k = l_k - l_0$ yardımıyla $K.U. = \% \Delta l_k / l_0 \times 100$ bağıntısı yardımıyla bulunur. Bu değer ne kadar büyükse malzeme o derece sünektir anlamına gelir. Bir malzemede σ_k ve σ_b değerlerini yükselten etkenler çoğunlukla sünekliliği azaltırlar.

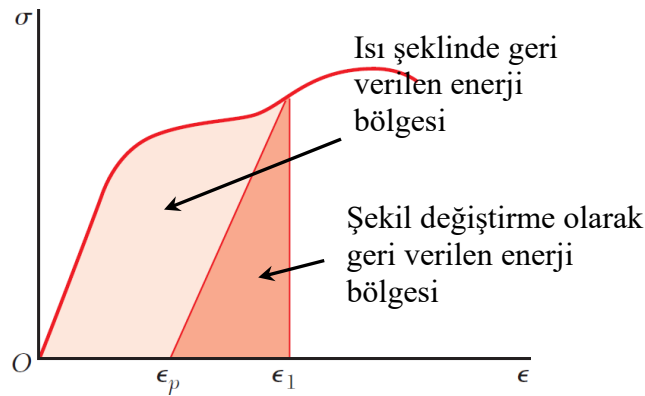


Şekil 5. Rezilyans ve Tokluk modülü

e) Rezilyans: Malzemenin yalnız elastik şekil değiştirme sırasında enerji absorbe etme yeteneğine denir. Bu enerji, gerilme (σ) birim uzama (ϵ) eğrisinin elastik kısmının altında kalan alan ile belirlenir (Şekil 5).

f) Tokluk: Malzemenin kırılıncaya kadar enerji depolama yeteneğine denir. Çentik darbe deneyi yardımıyla bulunan tokluk değeri dinamik tokluk olarak bilinir. Tokluk ayrıca statik olarak çekme deneyi neticesinde elde edilen σ - ϵ eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile de bulunur (denklem 1). Bu alana tokluk modülü de denilmektedir (Şekil 5).

$$u = \int_0^{\epsilon_K} \sigma \epsilon \quad (1)$$



Şekil 6. Birim şekil değiştirme enerjisi

Birim hacim başına düşen şekil değiştirme enerjisi olarak tanımlanan tokluk, kırılmaya karşı direnç için bir ölçü kabul edilir. Statik tokluk değeri ile dinamik tokluk değeri arasında herhangi bir matematiksek bağıntı yoktur. Ancak aynı malzeme için dinamik ve statik tokluk değerleri birbirini destekleyen sonuçlar verir. Tokluğun karşılığı olarak kırılma tabiri kullanılabilir.

Bir çekme numunesi plastik bölgede ϵ_1 birim şekil değiştirmesine kadar çekilip yük kaldırıldığında nihai durumda numunede gerilme sıfır olup, bir ϵ_p kalıcı şekil değişimi meydana gelecektir (Şekil 6). Numunenin çekme durumunda kazandığı birim hacimdeki toplam şekil değiştirme enerjisinin bir kısmı elastik şekil değişiminin geri verilmesi ile verilir. Bu verilen enerji Şekil 6. de ki üçgen alana eşittir. Numunede geri kalan enerji ise kalıcı şekil değişimi nedeniyle ısı şeklinde geri verilir.

3. Basma Deneyinin Genel Değerlendirilmesi

Basma deneyi sonucunda, basma diyagramı, (σ - ϵ eğrisi) elde edilerek, malzemenin akma ve çekme dayanımı gibi mukavemet değerleri ile kopma uzaması ve kopma büzülmesi gibi süneklik değerleri belirlenmektedir. Söz konusu değerler, malzemenin cinsine, kimyasal bileşimine ve metalografik yapısına bağlıdır.

Buraya kadar, basma numunesinin son durumu ile ilk durumunun karşılaştırılması ile elde edilen mühendislik veya teknolojik gerilme (σ_m) uzama (e) eğrileri incelendi. Ancak, ilk durum deney süresince devamlı değişime uğradığından özellikle plastik şekil değişimi için, Her noktadaki gerilme ve birim şekil değişiminin o andaki boyuta göre hesap edilmesi daha uygundur. Bu nedenle, mühendislik gerilmesi ve mühendislik birim şekil değişiminden farklı olarak gerçek gerilme (σ_g) ve gerçek birim şekil değiştirme (ϵ) tanımlanır. Bilindiği gibi, mühendislik gerilmesi (σ_m) = F_i / A_0 formülü ile hesaplanır. Buradaki F_i deformasyonun herhangi bir i anında numuneye etki eden kuvvet, A_0 ise numunenin ilk kesit alanıdır.

Mühendislik birim şekil değiştirmesi (e) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır. Burada, l_0 numunenin ilk uzunluğu, l_i ise herhangi bir i anındaki uzunluğudur.

$$e = \int_{l_0}^{l_i} \frac{dl}{l_0} = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Gerçek gerilme (σ_g), uygulanan kuvvetin deney parçasının o andaki en küçük kesit alanına bölünmesi ile elde edilir ve $\sigma_g = F_i / A_i$ bağıntısı ile hesaplanır.

Burada F_i deformasyonun herhangi bir i anında numuneye etki eden kuvvet, A_i ise kuvvetin uygulandığı andaki deney numunesinin kesit alanıdır. Gerçek birim uzama (ε), deney parçasının boyundaki küçük dl değişiminin o andaki l boyuna oranının integrali olarak tanımlanabilir ve

$$\varepsilon = \int_{l_0}^{l_i} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l_i}{l_0}$$

bağıntısı ile belirlenir. Buradan hareketle ve plastik şekil değişimi sırasında numunenin hacminin (V) değişmediği, yani;

$A_0.l_0 = A_i.l_i = V$ olduğu düşünülerek; $A_i = A_0.l_0 / l_i$ olarak bulunur.

$$(e) = \frac{l_i - l_0}{l_0} \Rightarrow \frac{l_i}{l_0} = 1 + e$$

mühendislik birim uzamasını şeklinde ifade edersek,

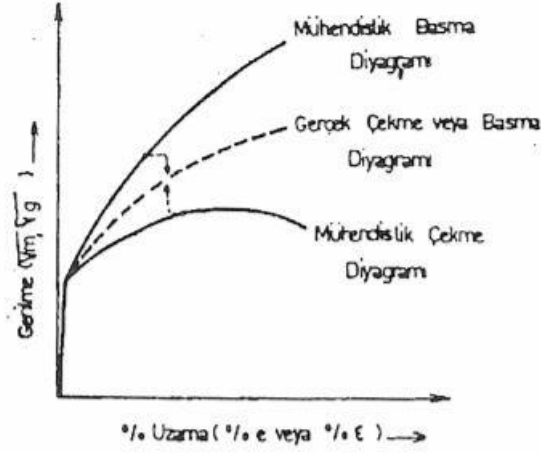
Gerçek gerilme; $\sigma_{\mathcal{A}} = \frac{F_i}{A_i} = \frac{F_i * l_i}{A_0 * l_0} = \frac{F_i * l_i}{A_0 * l_0} = \sigma_m(1+e)$ olarak bulunur.

Gerçek birim şekil değiştirme ise;

$$(\varepsilon) = \ln \frac{l_i}{l_0} = \ln(1 + e)$$

olarak yazılır.

Herhangi bir malzemeye ait mühendislik ve gerçek gerilme-birim uzama eğrileri Şekil 7’de verilmiştir



Şekil 7. Metalik bir malzemenin mühendislik ve gerçek çekme, basma diyagramlarının şematik gösterimi

4. Raporda İstenenler

Rapor; kapak, irdeleme, deneyin amacı, konu ile ilgili teorik bilgiler, deneysel çalışmalar, sonuçlar ve kaynaklar bölümlerini içerecektir. Her bölümde bölüm başlıkları büyük harfle yazılarak desimal sisteme göre numaralandırılacaktır.

a) Deney sonrasında ek olarak verilen malzemenin Kuvvet (F) – Uzama (δ) grafiğinden yararlanılarak, Şekil 8 ‘de gösterildiği gibi en az 7 noktadan alınan Kuvvet – Uzama ($F_1-\delta_1$; $F_2-\delta_2$; $F_3-\delta_3$; $F_4-\delta_4$; $F_5-\delta_5$; $F_6-\delta_6$; $F_7-\delta_7$) değerleri kullanılarak ve numunenin basma deneyi sonrası değişen çap ve boy miktarına göre hesaplamalar yapılarak Tablo 1 doldurulacaktır.

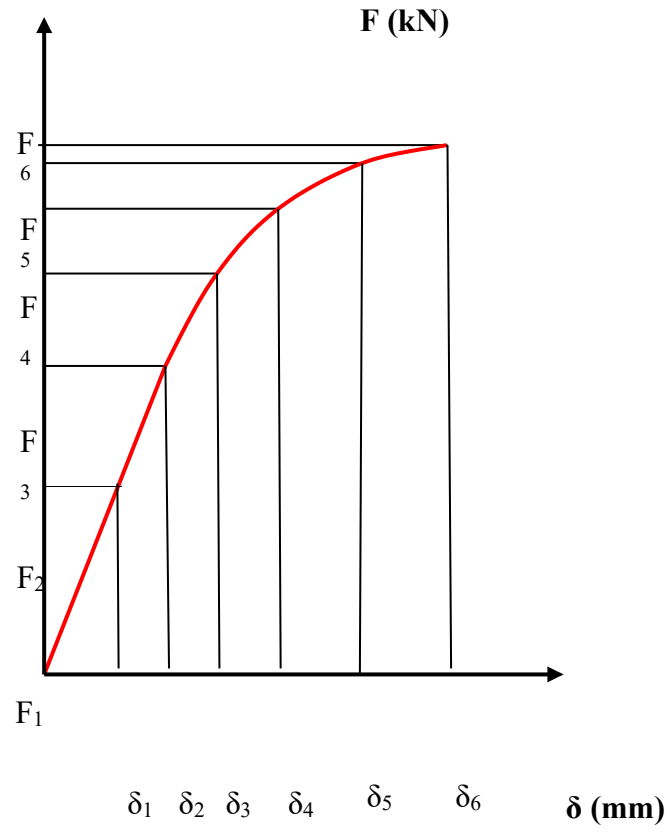
b) Şekil 8’de gösterildiği gibi deney sonrasında verilen malzemenin Kuvvet (F) – Uzama (δ) grafiğinden yararlanılarak, rastgele alınan 7 değer için Kuvvet-Uzama grafiği Excel Programıyla veya elle çizilecektir.

c) Tablo 1 yardımıyla Mühendislik Gerilme– Müh. Gerinim grafiği Excel Programıyla veya elle çizilecektir.

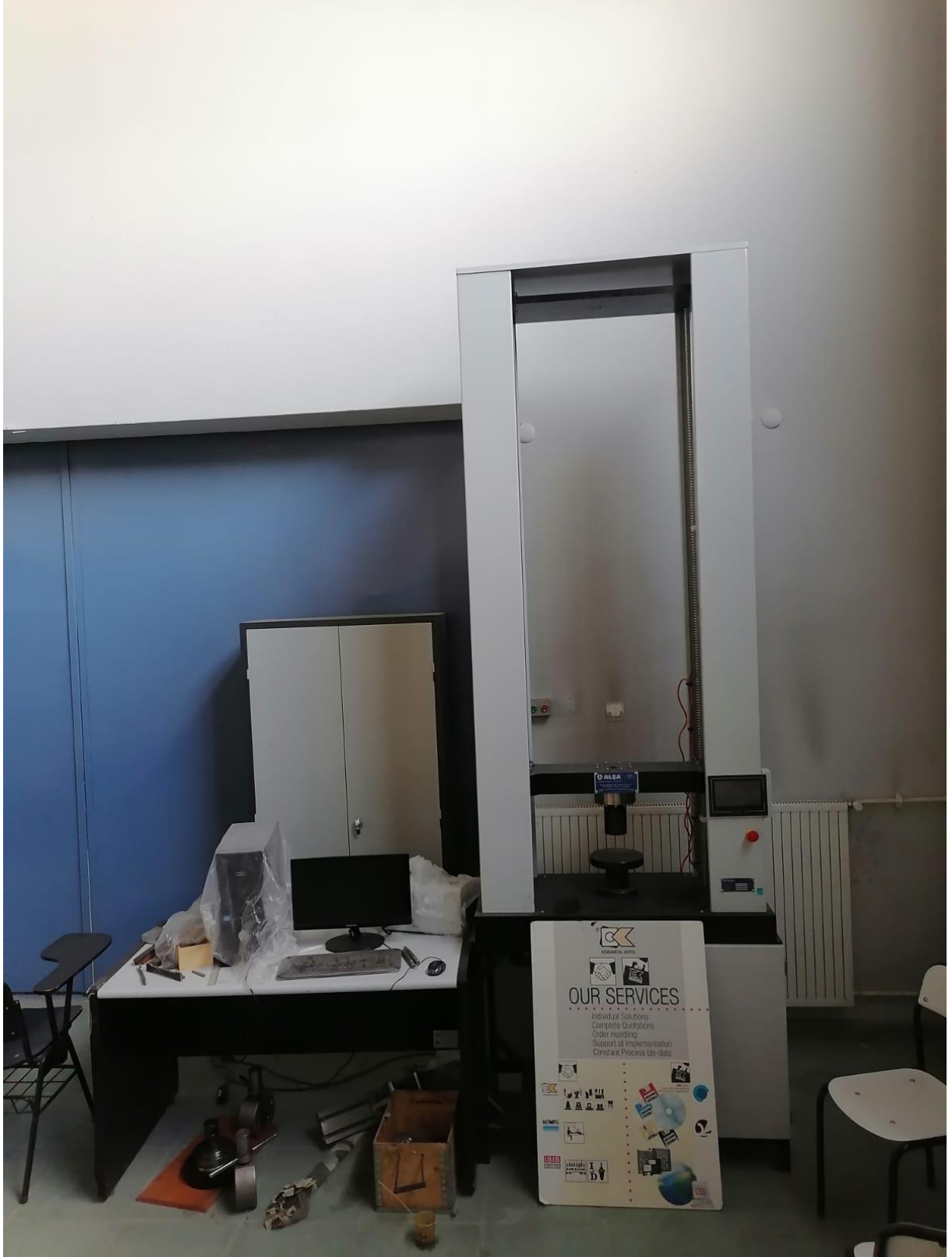
d) Tablo 1 yardımıyla Gerçek Gerilme– Gerçek Gerinim grafiği Excel Programıyla veya elle çizilecektir.

Tablo 1. Örnek tablo

Kuvvet F (kN)	Kısalma δ (mm)	İlk Çap (mm)	İlk Alan (mm ²)	İlk Boy (mm)	Müh Gerilmesi σ (MPa)	Müh Gerinimi ϵ (mm/mm)	Gerçek Gerilme σ (MPa)	Gerçek Gerinim ϵ (mm/mm)
F_1	δ_1							
F_2	δ_2							
..	..							



Şekil 8. Örnek kuvvet-uzama diyagramı



Şekil 9. Çekme-basma deney düzeneği görseli

2.9. EMİSYON ÖLÇÜM DENEYİ

1. DENEYİN AMACI

Buji ateşlemeli benzinli bir motorda egzoz emisyonlarının analitik olarak hesaplanması ve deneysel olarak emisyon ölçüm cihazı ile ölçülmesi.

2. GENEL BİLGİLER

Hidro-karbondan oluşan fosil yakıtların yanması ile çeşitli yanma ürünleri oluşur. İçten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılan benzin, motorin, LPG ve CNG yakıtlarının yanması sonucu oluşan egzoz gazlarına emisyon gazları denir ve bunlar aşağıda listelenmiştir.

- Hidrokarbonlar (HC)
- Karbon monoksit (CO)
- Karbon dioksit (CO₂)
- Azot oksitler (NO_x)
- Kükürt dioksit (SO₂)
- Fosfor, kurşun ve diğer metaller

İçten yanmalı motorlarda emisyon gazı salınımı aşağıda listelenen çok sayıda faktöre bağlıdır:

- yakıtın türü, kimyasal içeriği ve oktan sayısı
- motorun 2/4 zamanlı olması, strok hacmi ve devir sayısı
- aracın yaşı, bakım durumu, yük durumu, trafik ve yol şartları

Bu egzoz emisyonları çevreye ve insan sağlığına zararlıdır. Türkiye’de karayolu taşıtları için uyulması gerekli sınır değerler TSE standartlarında (TS ISO 8178 ve TS 11366) belirtilmiştir.

Dünyadaki toplam taşıt sayısı 2 milyar civarında iken ülkemizdeki toplam taşıt sayısı 22 milyon civarındadır. Taşıtların periyodik olarak egzoz emisyon ölçüm istasyonlarında ölçüm yaptırma zorunluluğu bulunmaktadır.

3. BUJİ ATEŞLEMELİ BENZİNLİ MOTOR KULLANILAN TAŞITLAR

Dizel yakıtın kullanıldığı bir yanma kendiliğinden patlama ile olsa da çeşitli dezavantajları beraberinde getirmektedir. Bu nedenle süreç içerisinde, yanmanın kendiliğinden olmadığı ve farklı yakıtların da kullanıldığı daha performanslı ve avantajlı motorlar geliştirilmiştir. Tutuşma sıcaklığına yakın bir basınç artırımının (sıkıştırmanın) sağlandığı ideal basınç altında bazen zorlama ile kıvılcım oluşturularak yanma başlatılır. Dizel kadar uzun zincir moleküllere sahip olmayan benzin, kıvılcım ile kolay ateşlenebilen bir yakıttır ve bu yüzden yanma daha kontrol edilebilir bir şekilde sağlanır. Bu motor tipinde, hava ve yakıtın ön karışımı (karbüratör kullanılarak veya port üzerinden püskürtme) olarak veya ön karışimsız (direkt püskürtme) olarak moleküler seviyede homojen biçimde sağlanması sonucunda, buji ile ateşleme yapılarak yanma gerçekleşir. Yanma odası içerisinde yanma sonucunda sağlanan basınç kuvveti pistonlar üzerinde itici bir etki yaparak, kimyasal enerjinin hareket enerjisine çevrilmesini sağlarlar. C₈H₁₈ kimyasal formuna sahip olan benzin

yakıtı, yanmanın alacağı forma göre yanma sonunda farklı emisyon gazları oluşturur. Benzin yakıtı ile çalışan buji ateşlemeli motora sahip taşıtlar benzin yakıtlı motorlu taşıtlar olarak adlandırılır.

Egzoz gazındaki kirleticileri zararsız veya daha az zararlı bileşenlere dönüştürmek amacıyla bir taşıtın egzoz sistemine yerleştirilen reaktöre “katalitik konvertör (dönüştürücü)” denir.

4. KATALİTİK KONVENTÖR (DÖNÜŞTÜRÜCÜ)

Katalitik konvertör ya da katalitik dönüştürücü, silindirlerdeki egzoz portlarının birleştiği egzoz manifoldunun çıkışında bulunarak, genellikle tam yanmanın sağlanamadığı ve havanın fazla, yakıtın eksik olduğu karışım oranlarına dayalı yanma ürünlerinin doğaya daha az zarar verici boyutlarda salınımını sağlamak için kullanılırlar. Genellikle, tam olarak yanmamış hidrokarbonlara ikinci bir yanma ve kirletici gazlara bir indirgenme ortamı sağlamaktır. Bu yanma ve indirgenme birtakım katalizörler (platin, paladyum ya da rodyum) kullanılarak yapılır. İkinci yanma işlemi motor dışında gerçekleştiğinden bundan işe dönüştürülebilir enerji elde edilmez.

Üç yollu bir katalitik konvertörde aşağıdaki üç tepkime eşzamanlı olarak meydana gelir:

Karbon monoksitin yakılarak karbon dioksit'e çevrilmesi:



Azot oksitlerin azota indirgenmesi:



Yanmamış hidrokarbonların (yani yanmamış yakıtın) karbon dioksit ve suya dönüştürülmesi, yani yakılması:



Bu üç tepkime, hava-yakıt karışımının birebir olduğu durum için yani yakıtça zengin ne de fakir olduğu durum için geçerlidir. Fakir karışımla çalışılırken yukarıdaki ilk iki tepkime üçüncüsünden daha çok gerçekleşir. Zengin karışımla çalışılırken ise üçüncü tepkime diğer ikisinden daha çok gerçekleşir, yani karışımın zengin olması nedeniyle tam olarak yanamayan yakıt, katalitik konvertörde yakılır. Katalitik Konvertör kanalları Platin, Paladyum, Rodyum ve Seryum ile kaplanmıştır. Konvertör içindeki Paladyum ve Platin HC ve CO' lerin oksitlenmesini, Rodyum ise NO_x 'lerin indirgenmesini sağlar. Seryum ise zengin ve fakir çalışma esnasında değişiklik gösteren oksijen miktarını, oksijeni depolayarak gerekli miktarda katalizörde tutmaya yarar.

5. EURO NORMLARI

Evrensel boyutlarda, ülkeler birlikte veya bağımsız olarak hava, çevre ve dolayısıyla insan sağlığı bakımından koruyucu tedbirler alma yükümlülüklerinden dolayı motorlu araçların egzoz salınımlarını daha az zararlı hale getirmeye çalışmaktadır. Bu amaçla konulan

standartlarla otomotiv firmalarına ürettikleri araçların egzoz gazlarındaki zararlı gazları azaltma zorunluluğu getirilmektedir.

Avrupa Birliği'nde EURO normları 1992 yılından beri uygulanmaktadır ve yürürlükte olan EURO normları giderek yükseltilmektedir. 1992 yılı itibariyle çıkarılan EURO 1 normu, takip eden yıllar içerisinde getirilen kısıtlamalar sağlanarak geliştirilmiştir. 2008 yılında EURO 5' in çıkarılması ile EURO 1' e göre gazlarda %86, partiküllerde ise %98 azaltma yapılmasını şart koşulmuştur. 2014 yılı itibariyle EURO 6 çıkarılmış ve çeşitli modifikasyonlarla, 2020' de yürürlüğe girecek olan EURO 6d versiyonuna kadar getirilmiştir.

Ocak 2016 tarihinden itibaren ise Türkiye' de yeni satılan araçların emisyonlarında, trafiğe çıkabilmesi için istenen norm olarak EURO 6 normu benimsenmiştir.

EURO emisyon normları, üretilen her birim güç için motor tarafından salınabilecek azami kirletici madde düzeyini belirlemektedir. Üretici firmalar, araçlarının çıkardığı egzoz gazının EURO normlarına uygun olmasını sağlamak zorundadır.

Bir içten yanmalı motorda (benzin veya dizel yakıtlı) yakıt yandığında egzoz gazında kirletici maddeler olarak bilinen azot oksitler (NO_x), karbon oksitler (CO_x), hidrokarbonlar (HC) ve partiküller (ince toz veya kurum) oluşur.

- Azot Oksitler (NO_x): Yüksek sıcaklıktaki yanma sonucu oluşur. Yağmur suyuyla karışarak aside dönüşür.
- Karbon Monoksit (CO): Yakıtça zengin yanma sonucu çıkar. Renksiz kokusuz, tahriş etmeyen ancak çok zehirli bir gazdır. Aynı zamanda karbondioksitten daha güçlü şekilde sera etkisine yol açar.
- Hidro Karbon (HC): Yanmamış yakıttan kaynaklanan uçucu yakıt buharıdır.
- Parçacık Maddeler (PM): $2.5 \mu\text{m}$ 'den küçük, bronşları dolduran parçacıklardır.

Benzin yakıtlı ve dizel yakıtlı motorlar için belirlenen EURO normları Tablo 5.1 Ve Tablo 5.2' de verilmiştir.

Tablo 5.1 Benzin yakıtlı motor kullanan araçlar için emisyon değerleri

Petrol (Gasoline)									
Euro 1†	July 1992	January 1993	2.72 (3.16)	-	-	-	0.97 (1.13)	-	-
Euro 2	January 1996	January 1997	2.Şub	-	-	-	0.5	-	-
Euro 3	January 2000	January 2001	2.Mar	0.20	-	0.15	-	-	-
Euro 4	January 2005	January 2006	1.0	0.10	-	0.08	-	-	-
Euro 5a	September 2009	January 2011	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.005**	-
Euro 5b	September 2011	January 2013	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045**	-
Euro 6b	September 2014	September 2015	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045**	6×10^{11} ***
Euro 6c	-	September 2018	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045**	6×10^{11}
Euro 6d-Temp	September 2017	September 2019	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045**	6×10^{11}

Euro 6d	January 2020	January 2021	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045**	6×10 ¹¹
---------	--------------	--------------	-----	------	-------	-------	---	----------	--------------------

Tablo 5.2 Dizel yakıtlı motor kullanan araçlar için emisyon değerleri

Tier	Date (Type Approval)	Date (First Registration)	CO	THC	NMHC	NO _x	HC+NO _x	PM	PN [# /km]
Diesel									
Euro 1†	July 1992	January 1993	2.72 (3.16)	-	-	-	0.97 (1.13)	0.14 (0.18)	-
Euro 2	January 1996	January 1997	1.0	-	-	-	0.7	0.08	-
Euro 3	January 2000	January 2001	0.66	-	-	0.50	0.56	0.05	-
Euro 4	January 2005	January 2006	0.50	-	-	0.25	0.30	0.025	-
Euro 5a	September 2009	January 2011	0.50	-	-	0.180	0.230	0.005	-
Euro 5b	September 2011	January 2013	0.50	-	-	0.180	0.230	0.0045	6×10 ¹¹
Euro 6b	September 2014	September 2015	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10 ¹¹
Euro 6c	-	September 2018	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10 ¹¹
Euro 6d- Temp	September 2017	September 2019	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10 ¹¹
Euro 6d	January 2020	January 2021	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10 ¹¹

6. YANMA

Yanma, bir maddenin tutuşma sıcaklığında havanın oksijeni ile reaksiyonu olarak tanımlanır. **Yanma**, yakıtın oksijenle birleştiği ve büyük miktarda enerjinin açığa çıktığı kimyasal bir reaksiyondur.

Isı, yüksek sıcaklıklı ortamdan düşük sıcaklıklı ortama enerji aktarımı olup, bir enerji kavramıdır.

Sıcaklık ise ortamdaki moleküllerin ortalama kinetik enerjileri ile orantılı olan bir kavramdır. Ortamdaki moleküllerin kinetik enerjileri ne kadar fazla ise, buradaki sıcaklık da o kadar fazladır. Moleküllerin kinetik enerjileri düştükçe, ortamın sıcaklığı da düşer.

Kimyasal reaksiyon, maddenin moleküler yapısında elektronlar düzeyindeki değişikliklere denir.



Egzotermik reaksiyon, bir reaksiyon sonunda ısı açığa çıkıyorsa bu tür reaksiyona egzotermik reaksiyon adı verilir.

Endotermik reaksiyon, reaksiyon oluşması için çevreden ısı alınması bu tür reaksiyona ise endotermik reaksiyon adı verilir.

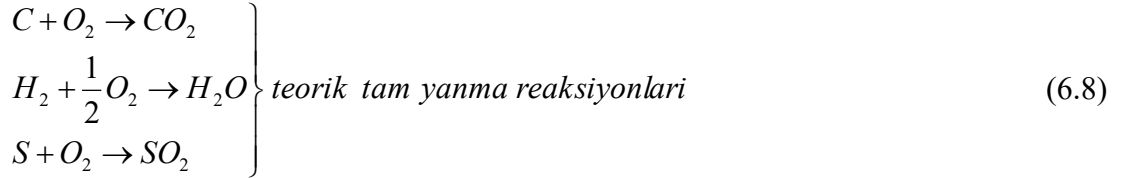
Yanma reaksiyonları, Tüm organik yakıtlar C, H, S'den oluşur. Bunların yanma reaksiyonları aşağıdaki denklemlere göre gerçekleşir.





Teorik oksijen/hava miktarı: C, H, S gibi yanıcı maddelerin yanması için gerekli minimum oksijen miktarına **teorik oksijen miktarı**, bu oksijeni içinde bulunduran havaya ise **teorik hava miktarı** denir. Buradaki yanma ürünleri CO_2 , H_2O , SO_2 şeklindeki tam yanma ürünleridir.

Teorik tam yanma: Reaksiyonda, yanma için gerekli minimum O_2 kullanılan ve bu O_2 'nin tamamının yanmaya girdiği ve reaksiyon sonunda CO_2 (Karbondiyoksit), H_2O (Su buharı) SO_2 (Kükürtdiyoksit), N_2 (Azot) gibi tam yanma ürünlerinin elde edildiği, yanma ürünleri arasında O_2 bulunmayan yanmaya **teorik tam yanma** denir.

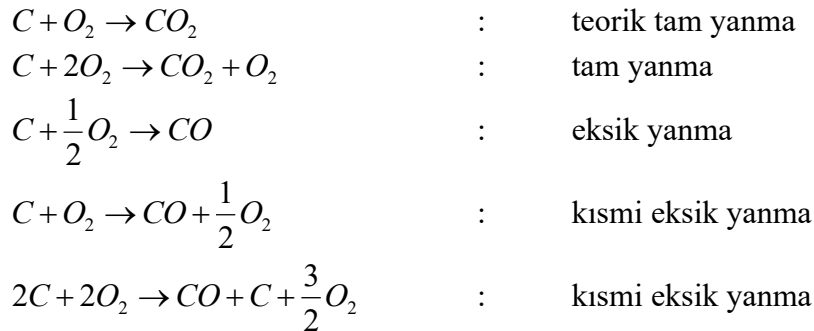


Hava fazlalık katsayısı (λ): Yanma odasına sadece teorik tam yanma için gerekli minimum O_2 gönderilirse, pratikte yanıcı moleküllerin tamamı yakıcı (O_2) molekülle birleşerek reaksiyona giremeyebilir. Yakıtın tamamının yanması ve tam yanma elde edilebilmesi için, yanma için gerekli teorik hava miktarından daha fazla hava verilir. Bu sayede, yakıt moleküllerinin tamamına yakın kısmı reaksiyona girer. Fazla verilen hava miktarı, **hava fazlalık katsayısı** ile belirlenir.

$$\lambda = \frac{V_{hg}}{V_{ht}} = \frac{\text{Gerçekte yanma için verilen hava miktarı}}{\text{Teorik tam yanma için gerekli hava miktarı}}$$

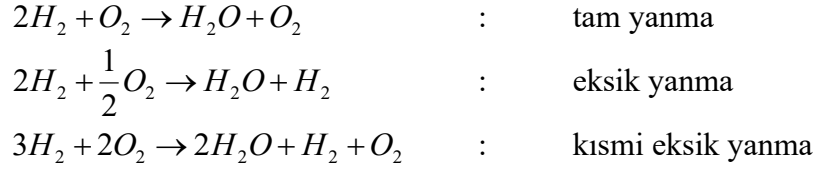
Tam yanma: Yanma için gerekli havadan daha fazla hava kullanıldığında, reaksiyon sonunda CO_2 , H_2O , SO_2 , N_2 ürünlerinin yanı sıra, fazla verilen havadan kaynaklanan O_2 'ninde yer aldığı yanmaya **tam yanma** denir.

C için:



H₂ için:





Eksik yanma: Yeterli O_2 olmayışından dolayı, yanma ürünleri arasında CO ve, H_2 bulunabilen yanma şekli **eksik yanma** olarak isimlendirilir. Eksik yanmada sağlanan hava, teorik hava miktarından daha azdır ($\lambda < 1$) .

Kısmi eksik yanma: Teorik hava miktarı ($\lambda = 1$) ile ve hatta daha fazla ile ($\lambda > 1$) yanma durumunda dahi yanma şartlarından (yanma odasının sıcaklığı, sıcaklık değişimi, havanın kalış süresi, homojen olmayan karışım gibi) kaynaklanan eksik yanma ürünleri oluşabilir. Bu yanmaya **kısmi eksik yanma** denir.

Oksijen/Yakıt oranı: Yanmada kullanılan O_2 'nin yakıta oranıdır. Bu oran; molar $(O/Y)_n$ yada kütleli $(O/Y)_m$ olarak verilir.

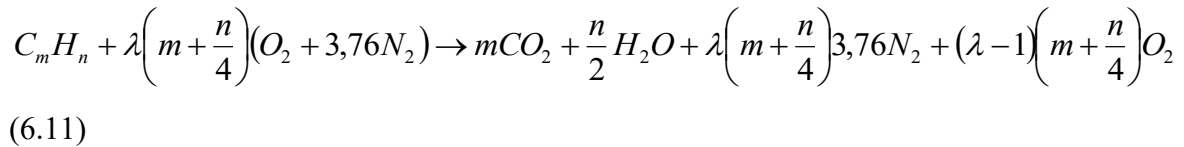
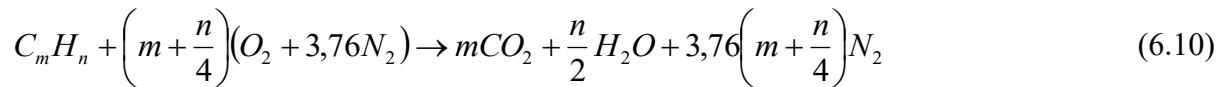
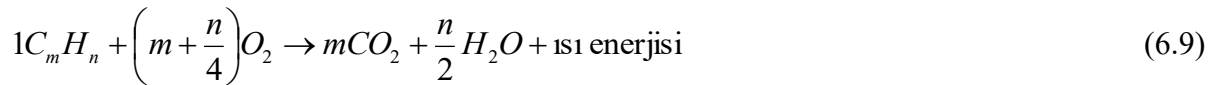
Hava/Yakıt oranı: Yanmada kullanılan havanın yakıta oranıdır. Bu oran da; molar $(H/Y)_n$ yada kütleli $(H/Y)_m$ olarak verilir.

Fakir karışım: Teorik hava miktarından daha fazla hava içeren yakıt–hava karışımlarına **fakir karışım** denir.

Zengin karışım: Teorik hava miktarından daha az hava içeren yakıt–hava karışımlarına **zengin karışım** denir.

Hidro-karbon içeren herhangi bir yakıt için genel yanma denklemi:

Karbon ve hidrojenlerden oluşan herhangi bir yakıtın, oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu oluşan ekzotermik yanma olayı Denklem 6.9’da gösterilmektedir. Denklem 6.10’ da saf hava için, denklem 6.11’de de ($\lambda > 1$) için herhangi bir yakıtın yanma denklemi verilmiştir.

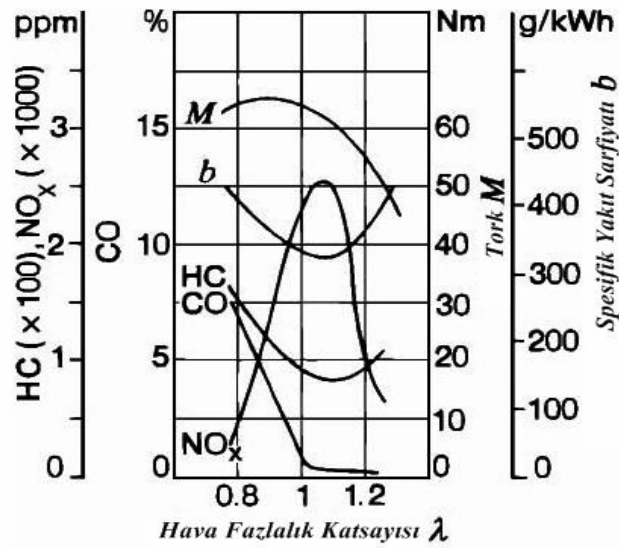


Özellikle emisyon gazlarının analiz sonuçlarının varlığında, araçlarda bulunan yol bilgisayarlarının, yakıt tüketimi hakkında bilgi vermesinin mümkün olduğu bilinmektedir. Emisyon değerlerinin molar olarak hesaplanmasının mümkün bu olduğu durumlarda, lambda oranının hesabı Brettschneider denklemi ile mümkündür. Denklem 6.12’ de Brettschneider denklemi verilmiştir.

$$\lambda = \frac{[CO_2] + \left[\frac{CO}{2}\right] + [O_2] + \left[\frac{NO}{2}\right] + \left(\left(\left[\frac{H_{cv}}{4}\right] \cdot \frac{3,5}{3,5 + \frac{[CO]}{[CO_2]}} \right) - \frac{O_{cv}}{2} \right) \cdot ([CO_2] + [CO])}{\left(1 + \frac{H_{cv}}{4} - \frac{O_{cv}}{2}\right) \cdot ([CO_2] + [CO] + (K_1 \cdot [HC]))} \quad (6.12)$$

Eşitlik incelendiğinde, lambdanın yanma sonucu açığa çıkan bütün egzoz emisyonlarının fonksiyonu olduğu bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

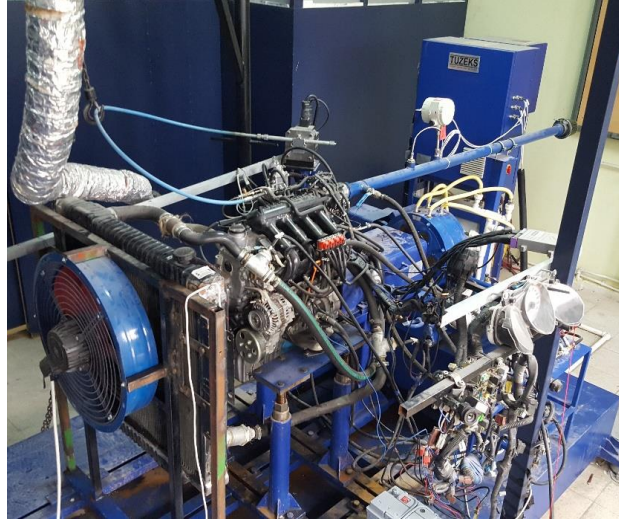
Şekil 6.1’ de buji ateşlemeli bir motorun lambda karşısında emisyon parametrelerinin aldığı değerler gösterilmiştir.



Şekil 6.1 HC, NOx, CO, M, b – λ ile Olan İlişkisi

7. BENZİN YAKITLI MOTOR KULLANILAN TAŞITTA EMİSYON ÖLÇÜMÜ

Benzin yakıtlı bir motorun, emisyon parametrelerinin ölçüleceği bu deneyde, Şekil 7.1’ de resmi ve şeması gösterilen motor test sisteminde, Honda L13A4 tipi, sıralı ateşlemeli bir ticari motorun emisyon ölçümleri yapılmaktadır. Şekil 7.2’ de gösterilen, Bosch BEA 550 tip emisyon ölçüm cihazı kullanılan deneyde, motorun tam yükte ve maksimum tork değerlerinin alınabildiği 2800 d/dak motor hızında ölçümler alınmaktadır. Deney sırasında, motorun ısı transfer ve sürtünme kayıplarının en aza indirilmesi amacıyla, belirli bir süre çalışması sağlanmaktadır. Tamamıyla bilgisayar kontrollü olan sistemde, emisyon cihazının bağlı olduğu bilgisayar üzerinden sıfırlama işlemi yapıp tamamlandıktan sonra, prop-egzoz hattı bağlantısı yapılır. Yaklaşık 5 dakikalık bir zamanda, tekrarlı ölçümler alınarak, emisyon cihazı tarafından bilgisayar ekranına rapor şeklinde sonuçlar verilir. Şekil 7.3’ de emisyon cihazı örnek ölçüm çıktıları görüntüsü verilmiştir.



Şekil 7.1 Motor test sistemi resmi ve şeması



Şekil 7.2 Emisyon ölçüm cihazı ve prop-egzoz bağlantısı



Şekil 7.3 Emisyon cihazı örnek ölçüm çıktıları.

8. RAPOR HAZIRLANIŞI

1. Deneyin amacı, içeriği ve yapılışını kısaca anlatınız.
2. CH_4 ve C_8H_{18} yakıtları için teorik tam yanma denklemini yazınız.
3. CH_4 ve C_8H_{18} yakıtları için ($\lambda = 1,05$) durumu için yanma denklemini yazarak yanma sonu ürünlerinin hacimsel oranlarını hesaplayınız.
4. C_8H_{18} için deney sonuçlarında yer alan lambda oranını kullanarak yanma sonu ürünlerinin hacimsel oranlarını bulunuz ve deneyde ölçülen ürünlerle karşılaştırınız ve farkları yorumlayınız.

9. ÖRNEK HESAPLAMA

- Denklem 9.1' de bir yakıtın yanma denklemi verilmiştir.
- Denklem 9.2' de lambda (λ) oranı 1,1 alınarak hesaplama yapılmıştır.

$$C_m H_n + \lambda \left(m + \frac{n}{4} \right) (O_2 + 3,76 N_2) \rightarrow m CO_2 + \frac{n}{2} H_2 O + \lambda \left(m + \frac{n}{4} \right) 3,76 N_2 + (\lambda - 1) \left(m + \frac{n}{4} \right) O_2 \quad (9.1)$$

$$C_8 H_{18} + 1,1 \left(8 + \frac{18}{4} \right) (O_2 + 3,76 N_2) \rightarrow 8 CO_2 + \frac{18}{2} H_2 O + 1,1 \left(8 + \frac{18}{4} \right) 3,76 N_2 + (1,1 - 1) \left(8 + \frac{18}{4} \right) O_2 \quad (9.2)$$

$$C_8 H_{18} + 13,75 (O_2 + 3,76 N_2) \rightarrow 8 CO_2 + 9 H_2 O + 51,7 N_2 + 1,25 O_2 \quad (9.3)$$

- Yanma ürünlerinin hacimsel toplamı 69,95'dir.

$$8 + 9 + 51,7 + 1,25 = 69,95$$

- Yanma ürünleri molar (hacimsel) oranları ise aşağıda hesaplanmıştır.

$$CO_2 : \frac{8}{69,95} \times 100 = \% 11,43$$

$$H_2 O : \frac{9}{69,95} \times 100 = \% 12,87$$

$$N_2 : \frac{51,7}{69,95} \times 100 = \% 73,91$$

$$O_2 : \frac{1,25}{69,95} \times 100 = \% 1,79$$

- Görüldüğü gibi yanma ürünleri yüzdesel hacim toplamı %100 olmaktadır.

Ekler

Ek-1. Deney Raporu Kapak Sayfası Örneği

**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

MAKİNA LABORATUVARI 2

..... **DENEY RAPORU**

Öğrenci No :

Adı-Soyadı :

Deney Grubu :

Deney Tarihi :

Teslim Tarihi :

Notu :

