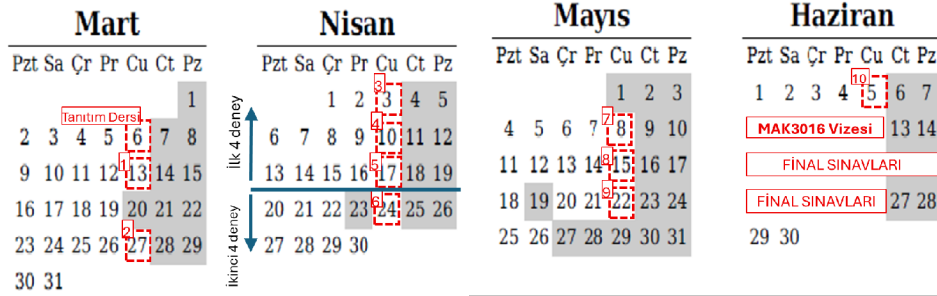


Deney no	Deney Adı	Sorumlular	Deneyin yapıldığı yer	GRUPLAR									
				A1 10:30-11:10		B1 10:30-11:10		C1 10:30-11:10		D1 10:30-11:10		E1 10:30-11:10	
				A2 11:20-12:00		B2 11:20-12:00		C2 11:20-12:00		D2 11:20-12:00		E2 11:20-12:00	
				F1 13:50-14:30		G1 13:50-14:30		H1 13:50-14:30		I1 13:50-14:30		J1 13:50-14:30	
F2 14:40-15:20		G2 14:40-15:20		H2 14:40-15:20		I2 14:40-15:20		J2 14:40-15:20					
1	Boyut Ölçümü ve Analizi Deneyi	Doç.Dr. Gürsel Şefkat Arş.Gör. Mahmut Buğra Yıldız	Makine Teorisi ve Dinamiği Lab.	13 Mart	27 Mart	3 Nisan	10 Nisan	17 Nisan					
2	Kurutma Deneyi	Prof. Dr. Akın Burak Etemoğlu Arş.Gör. Mücahit Türker Uysal	Isı Tekniği Lab.	17 Nisan	13 Mart	27 Mart	3 Nisan	10 Nisan					
3	Metalik Malzemelerin Çekme Deneyi	Prof. Dr. Hakan Aydın Arş.Gör. Meryem Altay	Malzeme Lab.	10 Nisan	17 Nisan	13 Mart	27 Mart	3 Nisan					
4	Burulma	Doç.Dr. Kenan Tüfekeci Arş.Gör. Burak Aydoğdu	Makine Eleman. ve Mek. Lab.	3 Nisan	10 Nisan	17 Nisan	13 Mart	27 Mart					
5	Millerin Kritik Hızlarının (Titreşim Modlarının) Tayini Deneyi	Doç.Dr. Ahmet Yıldız Arş.Gör.Volkan Turuç	Makine Teorisi ve Dinamiği Lab.	8 Mayıs	15 Mayıs	22 Mayıs	5 Haziran	12 Haziran					
6	Güneş Enerjisi Deneyi	Prof. Dr.Nurullah Arslanoğlu Arş.Gör. Mücahit Türker Uysal	Isı Tekniği Lab.	12 Haziran	8 Mayıs	15 Mayıs	22 Mayıs	5 Haziran					
7	Isınımlla Isı Transferi Deneyi	Prof. Dr. Erhan Pulat Arş.Gör. Mustafa Ülker	Isı Tekniği Lab.	5 Haziran	12 Haziran	8 Mayıs	15 Mayıs	22 Mayıs					
8	Debi Ölçümü ve Yük Kayıplarının Tespiti Deneyi	Doç. Dr. Onur Yemenici Arş.Gör. Muhammet Bilal İğdi	Akışkanlar Mekanığı Lab.	22 Mayıs	5 Haziran	12 Haziran	8 Mayıs	15 Mayıs					



	SIRA	ÖĞRENCİ NO	AD SOYAD
A1	1	31620078	BARIŞ DAĞ
	2	31720161	MUHAMMET AYDIN
	3	31820043	MURATHAN CEYHUN
	4	31820069	OĞUZHAN ERDOĞAN
	5	31920053	SELİM KÖSE
	6	32020007	FARUK BULUT
	7	32020015	DENİZ EYUPOĞLU
	8	32020058	MUHSİN BARIŞ GÖRGÜLÜ
	9	32020064	HİLAL KORKMAZ
	10	32020091	EREN SUNGUR
A2	11	32020099	NIHAT ALTAN
	12	32120012	İSMAİL ENGİN
	13	32120016	AHMET SAMİ AYGAR
	14	32120035	YASİN KALEM
	15	32120038	İBRAHİM ATALAY
	16	32120045	FURKAN FİDAN
	17	32120049	SEYİT MEHMET KILINÇ
	18	32120061	MUHARREM YILMAZ
	19	32120076	SUALP ÇINARLI
	20	32120091	TAHSİN TOLGA TEKİNER
B1	21	32120098	MUSTAFA YİĞİT
	22	32120123	EREN KAHVECİ
	23	32120161	ORKHAN ALİYEYEV
	24	032130008Ç	ZEYNEP AYDEMİR
	25	32220002	EMİRHAN FATİH KÖSE
	26	32220004	MERT KILIÇ
	27	32220006	YASİN BAŞDAR
	28	32220007	EMRE CAN YILMAZ
	29	32220011	YUSUF ER
	30	32220015	ÖMER FARUK KAPLAN
B2	31	32220016	TUĞÇE NUR ÖZTÜRK
	32	32220020	EMRE BEŞLİ
	33	32220025	BÜŞRA GÜLAY
	34	32220026	MEHMET AKİF BALAHORLU
	35	32220028	ZEYNEP KÜBRA DOĞAN
	36	32220030	İBRAHİM ETHEM ŞENYUVA
	37	32220034	ARMAN ÇELİK
	38	32220036	KEREM SARIOĞLU
	39	32220037	AZAD KARAKUŞ
	40	32220039	NAGİHAN ÇELİKOK
C1	41	32220040	YAŞAR BURAK TEMİZKAN
	42	32220042	HASİP TÜRKAY GERE
	43	32220049	HASAN HÜSEYİN GÜZEL
	44	32220050	İŞİL TAŞ
	45	32220056	SAMET AYBERK MUTLUER
	46	32220057	BERKE GÜLEÇ
	47	32220059	SALİH SERHAT SEZGİN
	48	32220060	OĞUZ KADİR ÖZTÜRK
	49	32220064	KERİM HALİL ETLİ
	50	32220065	MELİH GÖRKEM VURAL
C2	51	32220066	MUHAMMED EMRE KAPRAN
	52	32220068	EKREM AKKUZU
	53	32220069	SEMİH BAĞRIYANIK
	54	32220072	SERHAT YAVUZ CAN
	55	32220073	DENİZ YÖRÜK
	56	32220074	ARİF EREN KALINBACAK
	57	32220079	ALİ EMRE ŞAHİN
	58	32220080	EMRE BURAK KILBOZ
	59	32220084	EMİRHAN GÜNAYDIN
	60	32220085	MELİH İNCİ
D1	61	32220086	CANER KODAL
	62	32220088	BURAK GÜNEŞ
	63	32220092	HÜSEYİN KASALAK
	64	32220094	KÜBRA ARAZ
	65	32220096	TAHİR DELİDOĞAN
	66	32220098	MÜLEYKE ÇALMAN
	67	32220104	CENK KUŞCU
	68	32220105	İZZET ÖZDEMİR
	69	32220111	OMAR MAHAMAT
	70	32220136	BERKAY ÖZCAN
D2	71	32220137	GÜLCE KAYIŞOĞLU
	72	32220139	OZAN ŞAKAR
	73	32220140	SELAHATTİN TUNA DALGIN
	74	32220141	KEREM İRFANOĞLU
	75	32220142	MUSTAFA KEMAL ÖZSAN
	76	32220144	İBRAHİM CENK CANGÜL
	77	32220171	NAHİD AHADZADE
	78	32220175	HEDİL HAC ŞABAN
	79	32320001	ALPER ÖZKAN
	80	32320010	İSMET ANIL EROĞLU
E1	81	32320015	NİSA NUR ALAN
	82	32320018	HAMZA MAŞALI
	83	32320019	ÖMER KORKMAZ
	84	32320020	AYKUT ŞİMŞEK
	85	32320043	BERK YILMAZ
	86	32320044	SEZGİ ÖZTÜRK
	87	32320050	BERKAY KARAÇENGEL
	88	32320052	ERDEM MARAL
	89	32320057	ALEYNA AYVAZOĞLU
	90	32320060	EMİRHAN SEÇKİN
E2	91	32320061	ALP EREN CANARSLAN
	92	32320064	BARTU AKTEN
	93	32320065	TALHA DURUTLAR
	94	32320079	İSMAİL KEREM ŞEN
	95	32320095	MUSTAFA ÇAĞDAŞ TEZEL
	96	32320097	YUNUS BURGALI
	97	32320166	BURAK TAYYİP

	SIRA	ÖĞRENCİ NO	AD SOYAD
F1	1	31620695	OĞUZ ÇAM
	2	31820586	SÜHEYLA KARAKAŞ
	3	31920537	ONUR ATALAY
	4	31920543	SERDAR GÜRDAL
	5	31920561	FURKAN DEMİR
	6	31920563	MERT ERSOY
	7	31920637	BERKAY AÇIKGÖZ
F2	8	32020502	ALİ ARMAN HÜNER
	9	32020508	CEREN KARAÇAY
	10	32020517	MEHMET ALİ KÖSE
	11	32020581	ÖMER FARUK DÖNMEZ
	12	32020630	UTKU SELEN
	13	32120502	EREN ERMAĞ
	14	32120515	ABDULLAH DAVARCI
G1	15	32120531	EMRE GÜLCAN
	16	32120538	MUHAMMED EMİRHAN TÜRK
	17	32120554	AHMET DUMLU
	18	32120555	ERAY ÖZGENÇ
	19	32120569	BUĞRA YANAR
	20	32120583	MAHMUT BALKAN
	21	32120590	KAAN TORUN
	22	32120642	RASUL MAMMADOV
G2	23	32220505	ÖZLEM GÜNEY
	24	32220508	ERAY ÇAĞLAR
	25	32220509	KADİR FURKAN EMRE
	26	32220510	YUSUF İSLAM NEHRİ
	27	32220512	KADİR ÇİFTÇİ
	28	32220515	ÖZGE ONAY
	29	32220516	BARİŞ YÜKSEL
H1	30	32220519	SELİN İREM CAMBAZ
	31	32220520	MEHMET EREN AKÇİÇEK
	32	32220521	ENES KARAKUZU
	33	32220524	ÇAĞATAY YİĞİT
	34	32220529	DOĞAN EROL
	35	32220534	ULAŞ CAN BİLGİN
	36	32220541	ÖMER İLBER DOĞAN
H2	37	32220542	REMZİ ÇAĞATAY KARAHAN
	38	32220544	AZRA DENİZ
	39	32220548	RAHMAN BATU ÇAKIROĞLU
	40	32220552	RIZA BERKE ÇINAR
	41	32220556	EGEHAN KALKANOĞLU
	42	32220562	ENES TOSUN
	43	32220565	MUSTAFA ABAKA
	44	32220567	TUFAN ÇALIŞKAN
I1	45	32220580	ZEYNEP ŞAHİN
	46	32220582	RIFAT KAAN KESKİN
	47	32220583	EMİN ŞENTÜRK
	48	32220590	MEVLÜT YİĞİT
	49	32220594	TALHA NAZLIM EKİM
	50	32220595	BERKAN AYDIN
	51	32220608	İBRAHİM BARTU İNAL
I2	52	32220661	ÖMER CÜNEYT DÜNDAR
	53	32220665	MUSSAZHAN OSMANOV
	54	32220666	BUŞUR AHMED
	55	32320506	BUĞRA YAGCIOĞULLARI
	56	32320507	SUZAN YAŞAR
	57	32320514	BURAK EMRE ÖZEN
	58	32320515	ÇAĞAN DENİZ AKÇAY
J1	59	32320521	TUNAHAN BEKTAŞ
	60	32320533	UTKU KARA
	61	32320536	ALİ TAHA DIRAK
	62	32320546	EREN KARAKADIOĞLU
	63	32320547	SEMİH SARIÇAM
	64	32320553	AYŞE BERİN OKUR
	65	32320554	YUNUS EMRE ŞAHİN
	66	32320555	SÜLEYMAN MERİÇ MIHCI
J2	67	32320557	EREN BAŞARAN
	68	32320558	BEYZA GÜNGÖR
	69	32320559	BURÇE KIZIL
	70	32320576	ECE COŞKUN
	71	32320580	İBRAHİM YAVUZ AKSOY
	72	32320599	FURKAN BAYRAKTAR
	73	32320605	EMRE KÜÇÜK

LABORATUVAR DÖNEM ÖDEVİ KONULARI

GRUP ADI	DENEY KONUSU
A1-F1	EĞİK DÜZLEMDE KURU SÜRTÜNME DENEYİ Bu deneyde, farklı tür malzemeler için eğik düzlemde sürtünme katsayısının belirlenmesi, dinamik ve statik sürtünme arasındaki farkın gözlenmesi ve düzlemin farklı eğim açılarında statik kuvvet dengesinin oluşturulması amaçlanmaktadır.
A2-F2	YORULMA DENEYİ Bu deneyde, metalik malzemelerde yorulma dayanımının belirlenmesini göstermek amaçlanmıştır. Wöhler diyagramının hazırlanması, bu diyagramda, farklı cins malzemelerin yorulma dayanımlarının karşılaştırılması, çentik etkisi ve yüzey pürüzlülüğü gibi yorulma dayanımı üzerindeki önemli parametrelerin etkileri kavratılmaya amaçlanmaktadır.
B1-G1	KAYIŞ-KASNAK MEKANİZMALARINDA KAYIŞ KUVVETLERİ VE SÜRTÜNMENİN BELİRLENMESİ Bu deneyde, kayış-kasnak mekanizmalarında sarım açısı, kayış türleri (V kayışlar, düz kayışlar) ve kayış yuvalarındaki değişimin sürtünme üzerine etkisi analiz edilmiştir. Bu sayede, kayış-kasnak arasındaki sürtünmeden dolayı oluşan sürtünme katsayılarının hesaplanıp karşılaştırılması amaçlanmaktadır.
B2-G2	BURKULMA DENEYİ Bu deneyde, Euler burkulma teorisinin incelenmesi ve mesnetleme şekillerine göre kritik burkulma kuvvetleri ve gerilmelerinin belirlenerek sistemin emniyet kontrolünün yapılması amaçlanmıştır.
C1-H1	AKIŞKANLARIN ISI İLETİM KATSAYILARININ BELİRLENMESİ DENEYİ Akışkanların (sıvılar ve gazlar) ısı iletim katsayılarının belirlenmesi ve bulunan bu değerlerin tablo (literatür) değerleriyle karşılaştırılması.
C2-H2	RULMANLI VE KAYMALI YATAKLARDA SÜRTÜNME VE DİNAMİK DAVRANIŞ DENEYİ Bu deneyde, farklı tür malzemelerden oluşan kaymalı yatakların yatak boşluklarına yerleştirilerek yüzey çiftleri arasında oluşan sürtünme için sürtünme katsayılarının belirlenmesi ve karşılaştırılması amaçlanmaktadır.
D1-I1	MOTORLARDA EMİSYON ÖLÇÜM DENEYİ Buji ateşlemeli bir motorda egzoz emisyonlarının belirlenmesi, motor performans parametreleri ile ilişkilerinin incelenmesi ve emisyon kontrol yöntemlerinin tanıtılması.
D2-I2	AÇISAL HIZIN ÖLÇÜLMESİ Farklı kütleler kullanarak açısal hızın ölçülmesi amaçlanmaktadır.
E1-J1	OHM KANUNU ve BİR İLETKENİN ÖZDİRENCİNİN BELİRLENMESİ Direncin tanımı ve direncin bağlı olduğu parametreler. Parametrelerin ölçülmesi ile öz direncin bulunması ve literatür ile karşılaştırılması. Basit direnç devrelerinde (Seri ve Paralel) eşdeğer direncin bulunması amaçlanmaktadır.
E2-J2	SIVI SEVİYE DENETİM SİSTEMİ Bu deneyde tank içi sıvı seviyesinin kapalı döngü oransal denetimi amaçlanmaktadır.

Dönem ödevleri bireysel olarak yapılacaktır. Dönem ödevlerinin son teslim tarihi: 05 Haziran 2026'dır. Bu tarihten sonra teslim edilen ödevler kabul edilmeyecektir. Bireysel hazırlanan ödevler, pdf formatında maklab@uludag.edu.tr adresine gönderilmelidir.



BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MAK3016 GENEL MAKİNE LABORATUVAR
DERSİ

2025-2026 BAHAR DÖNEMİ



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
2025-2026 BAHAR YARIYILI



Önsöz

Bu doküman MAK3016 Genel Makine Laboratuvar dersi için gerekli bilgileri bir arada vermek amacı ile hazırlanmıştır. Dokümanın birinci bölümünde rapor yazma ve teslim kuralları, deney grupları ve deney uygulama saatleri, dönem ödev konuları ve değerlendirme verilmiştir. İkinci bölüm ise dönem içinde yapılacak deneylere ait föyleri içermektedir.

Mart 2026

Laboratuvar Komisyonu



GRUPLAR

CUMA Günleri

Örgün Eğitim: 10:30-12:00

İkili Eğitim: 13:50-15:20

Saatleri arasında 10/15 Kişilik, Ders İsim Listelerine göre Laboratuvar Komisyonu Tarafından Belirlenen ve İlan Edilen Gruplarla yapılacaktır.

Kurallar:

- Ders kayıtları olup fakat listede adı olmayan öğrencilerin Arş.Gör.Dr. Ercan Düzgün (eduzgun@uludag.edu.tr) ile irtibata geçmeleri gerekmektedir. Kesinlikle gruplar arası değişim yapılmayacaktır.
- Dönem boyu yapılan çalışmaların katkıları: % 5 Ödev, %20 Rapor (8 adet), %15 Ara Sınav ve %60 Yıl Sonu Sınavı oranlarındadır.
- Deneyi yapan öğretim elemanından izinsiz olarak kendi grubu ile deneye girmeyen öğrenci o deneye girmedikçe değerlendirilecektir.
- 2 deneyin üzerinde devamsızlığı olan öğrenci, "Devamsız" sayılmaktadır. (Bursa Uludağ Üniversitesi Lisans Yönetmeliği, Devam Zorunluluğu, Madde 18: *Öğrencilerin; kuramsal derslere en az %70, uygulama, laboratuvar, işyeri eğitimi ve benzeri çalışmalara en az %80 oranında devamı zorunludur. Bu şartın yerine getirilmemesi durumunda öğrenci, o ders veya öğretim faaliyeti için devamsız kabul edilir. Devamsız öğrenci, sınavlara alınmaz ve not çizelgesinde bu durum D(Devamsız) ile belirtilir.)*
- Girilmemiş bir deneyin raporu verilse dahi o deney için öğrenci devamsız sayılmaktadır.
- Deney raporları grup olarak hazırlanır. Deney rapor teslimleri, ilgili deney sorumlusuna deney bitimini izleyen bir sonraki haftaki deney gününde teslim edilecektir.
- Ödev teslimi için son teslim tarihi: 05 Haziran 2026'dır. Ödevler bireysel olarak hazırlanmalıdır.Ödevleri, pdf formatında maklab@uludag.edu.tr adresine e-mail göndermeniz gereklidir.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MAK3016 GENEL MAKİNE LABORATUVARI
DERSİ

DENEY FÖYLERİ

2025-2026 BAHAR DÖNEMİ

MİLLERİN KRİTİK HIZLARININ (TİTREŞİM MODLARININ) TAYİNİ

1. Amaç

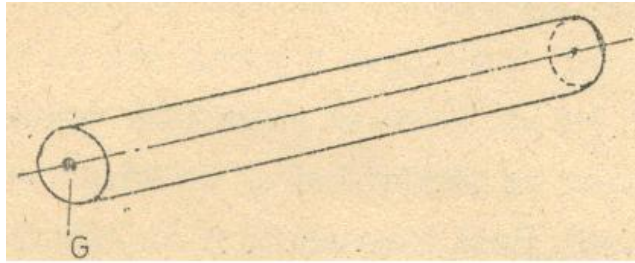
Bu deneyde amaç, basit mesnetlenmiş bir milin kritik devir sayısının ve buna ait titreşim çeşitlerinin (modlarının) tayinidir. Milin işletme devir sayısı bu kritik devir sayılarından birine tesadüfen eşit veya çok yakın ise “rezonans” durumu ortaya çıkar; yani milin mekanik enerjisi giderek artar ve bu artan enerjiyi dengeleyecek sürtünme ve saire gibi enerji kaybettiren unsurlar yoksa neticede milin yer değiştirmeleri, milin kırılmasına yok açacak mertebeye ulaşır.

2. Giriş

Millerde kritik devir sayısının varlığına sebep, ideal katı (rijit) olmayışlarıdır. Katı fakat şekil değiştirebilen millerde dönme esnasında sınır ve yükleme şartlarıyla devir sayısına bağlı olarak farklı şekiller göze çarpar. Başka bir deyişle elastik eğrileri farklı olur.

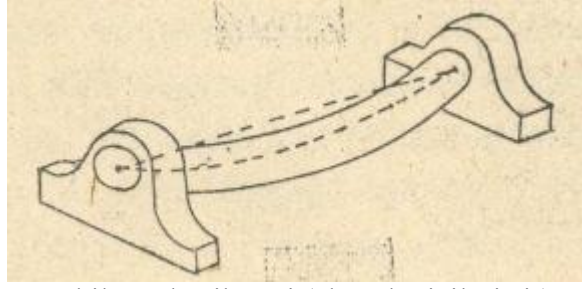
Eğer mil, rijit bir malzemeden yapılmış olsaydı esnemesi sıfır olacağından bir rezonans olayı ortaya çıkmayacaktı.

Şimdi mili sükunette iken döndürmeye başladığımızı düşünelim. Milin dolu daire kesitli olduğunu varsayıyoruz. Milin malzemece üniform imal edildiğini, yani her kesitte, kesitin geometrik merkezi ile kütle merkezinin –bu hal pratikte pek mümkün olmamakla beraber- çakıştığını kabul edelim (Şekil-1).



Şekil 1. Üniform Mil

Bu mili basit yani uçları dönmeye müsaade edecek tarzda mesnetlediğimizde, kendi ağırlığı altında bir elastik eğri oluşturacaktır (Şekil 2).

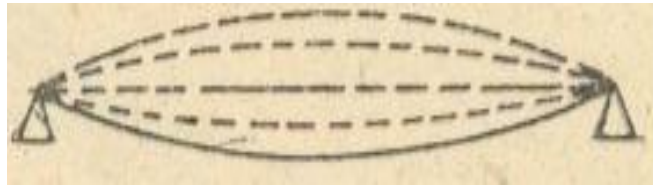


Şekil 2. Elastik eğri (abartılı çizilmiştir)

Dolayısıyla daha sükunette iken her kesit yatak merkezleri ekseninden belirli bir uzaklıktadır. Dönme hareketi başladığında milin her bir diferansiyel parçasına, o kısmın sehimleriyle orantılı merkezkaç kuvveti etkimeye başlayacaktır. Devir sayısı arttıkça daha büyük sehimli bir elastik eğri oluşur. Ağırlık kuvveti olmasa ve mil hem geometrik hem de malzeme yoğunluğu bakımından üniform olsaydı dönme esnasında dengelenmemiş merkezkaç kuvvet oluşmayacaktı.

Milin ağırlığı fevkalade az bile olsa çoğunlukla milin geometrik merkezi ile kütle merkezi birbirinden imalat ve içyapı nedeniyle farklılık arz eder veya milde bir ilkel eğrilik mevcuttur. Bu durumda da dönme hareketi başladığında dengelenmemiş merkezkaç kuvvetler oluşur ve devir sayısı arttıkça büyük sehimli elastik eğriler oluşur. Devir sayısı sabit tutulduğunda elastik eğrinin biçimi korunur.

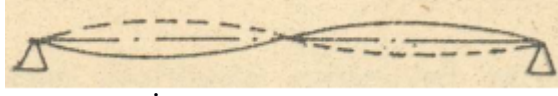
Deneyimizde belirli bir devir sayısına vardığımızda, o devir sayısını korusak ile milin elastik eğri sehimlerinin artmaya çalıştığını görüyoruz. İşte bu durumda devir sayısı milin birinci kritik devir sayısına eşit ve bir “rezonans” durumuyla karşı karşıyayız demektir. Ne var ki, gerek yataklarda, gerek havada ve gerekse malzeme bünyesindeki sürtünme ve sönüm tesirleri nedeniyle elastik eğri sehimlerinin sonsuza gitmesi mümkün olmaz. Basit mesnetli bir milde birinci kritik hıza kadar elastik eğrinin görünümü Şekil 3’deki gibidir. Mil döndüğünden bu bir dönel yüzeyi andırır.



Şekil 3. Birinci kritik hızda milin şekli

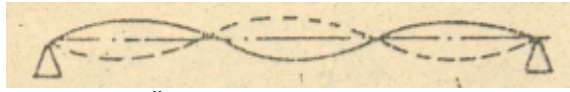
Devir sayısını arttırmaya devam edersek birinci kritik hızdan sonra elastik eğri sehimlerinde nisbî bir azalma izlenir. Devir sayısı yine belli bir değere geldiğinde yine

elastik eğrinin sehimlerinde artma izlenir ama bu defa elastik eğrinin şeklinin biraz değişik olduğu gözlenecektir (Şekil 4).



Şekil 4. İkinci kritik hızda milin şekli

Dikkat edilirse milin orta noktasının hemen hemen hiç hareket etmediği görülür. Devir sayısı yine arttırılsın. Belli bir devir sayısına geldiğimizde bu defa Şekil 5'deki ilgi çekici bir elastik eğri ile karşılaşacağız.

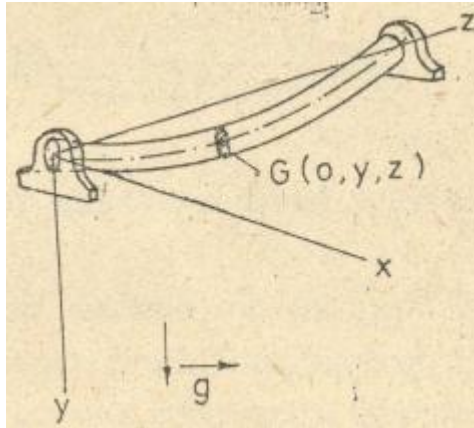


Şekil 5. Üçüncü kritik hızda milin şekli

3. Teori

3.1. Hareket Denklemlerinin Çıkartılması

Şimdi bu durumun teorik yönden açıklamasını yapmaya çalışacağız. Bu maksatla milimizi yataklarıyla beraber ve sükûnette yayılı ağırlık kuvveti altında oluşturduğu elastik eğriyi de gösterir vaziyette bir xyz koordinat takımında tasvir edelim (Şekil 6)



Şekil 6. xyz koordinat takımında basit mesnetli mil

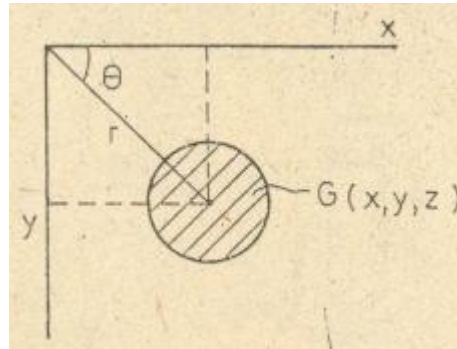
Burada xyz koordinat takımının şekildeki gibi seçilmesi tamamen keyfidir. Ancak koordinat takımı seçildiğinde elastik eğrinin eğriliği ile kesit eğilme momenti arasındaki ilişkinin işaretinde bir seçim yapılmış olur ($\frac{d^2y}{dz^2} = \frac{-M}{EI}$ veya $\frac{d^2y}{dz^2} = \frac{M}{EI}$). yz düzlemi düşeydir, xy düzlemi ise yatayıdır. Keza xy düzlemi de bu iki düzleme dik olup düşey durmaktadır.

Şekil 6’da mil elastik eğrisi yerçekim vektörü doğrultusuna paralel yani düşey yz düzlemi içindedir ve hareket olmadığından

$$EI_x \frac{d^4 y}{dz^2} = \frac{dm}{dz} g \quad (1)$$

bağıntısından bulunabilecek bir eğridir. Burada $\frac{dm}{dz} \cong \rho A = sbt$ olup milin birim uzunluk başına kütlesidir (ρ :mil malzemesinin yoğunluğu [kg/m^3], A :kesit alanı [m^2]).

Dönme hareketi esnasında, kütle merkezi başlangıçta (O,y,z) koordinatlarıyla verilen noktada bulunan herhangi bir kesit öyle bir konuma gelsin ki bu konumda kütle merkezi koordinatları (x,y,z) olsun. Göz önüne alınan anda devir sayısını da sabit tuttuğumuzu varsayıyoruz. Dolu daire kesit söz konusu olduğundan bu kesit üzerinde x ve y eksenlerine paralel alınacak ve çaptan geçen her eksen asal eksen olacaktır. Dolayısıyla milin ağırlık merkezi ve merkezkaç kuvvetler tesiri altındaki eğilmesi bu iki asal eksen doğrultusunda bileşenlerine ayrılıp incelenebilir. Bu bilgiler ışığında Şekil 7 yardımıyla hareket denklemlerini elde edebiliriz.



Şekil 7. Milin herhangi bir kesitinin t anındaki yeri

Elastik eğri denklemi Şekil 8’deki notasyona göre;

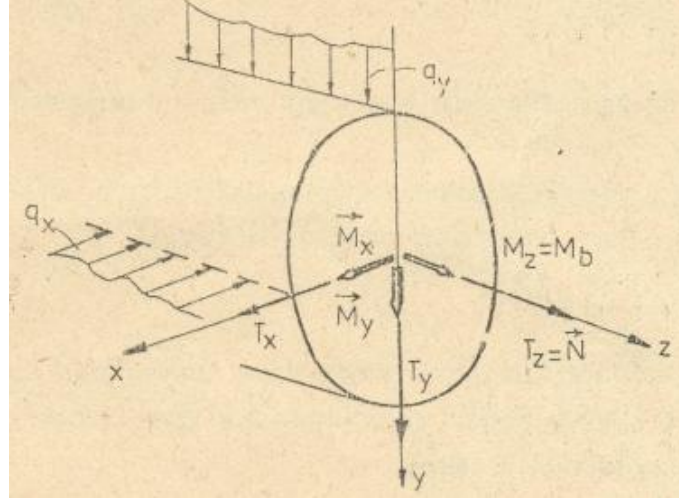
x doğrultusunda

$$EI_y \frac{\partial^4 x(z, t)}{\partial z^4} = -q_x$$

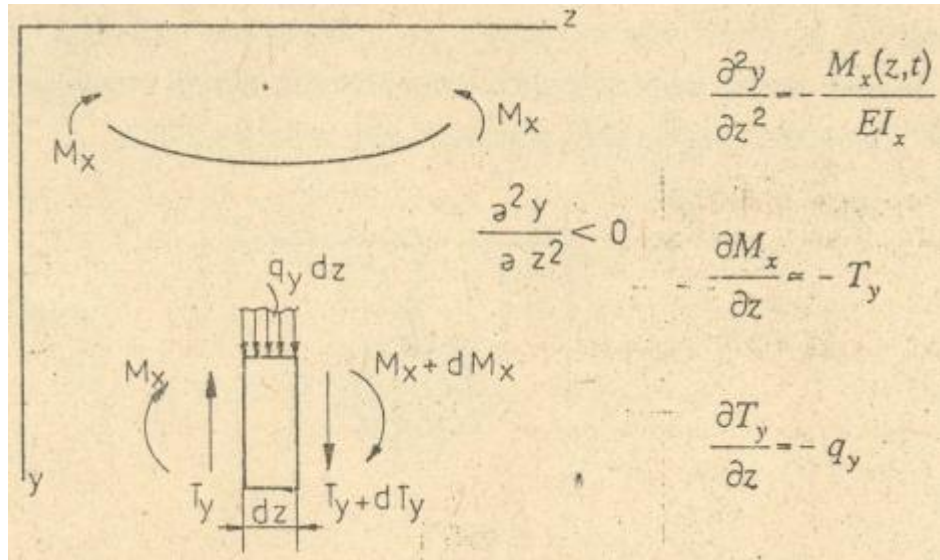
ve y doğrultusunda

$$EI_x \frac{\partial^4 x(z, t)}{\partial z^4} = -q_y$$

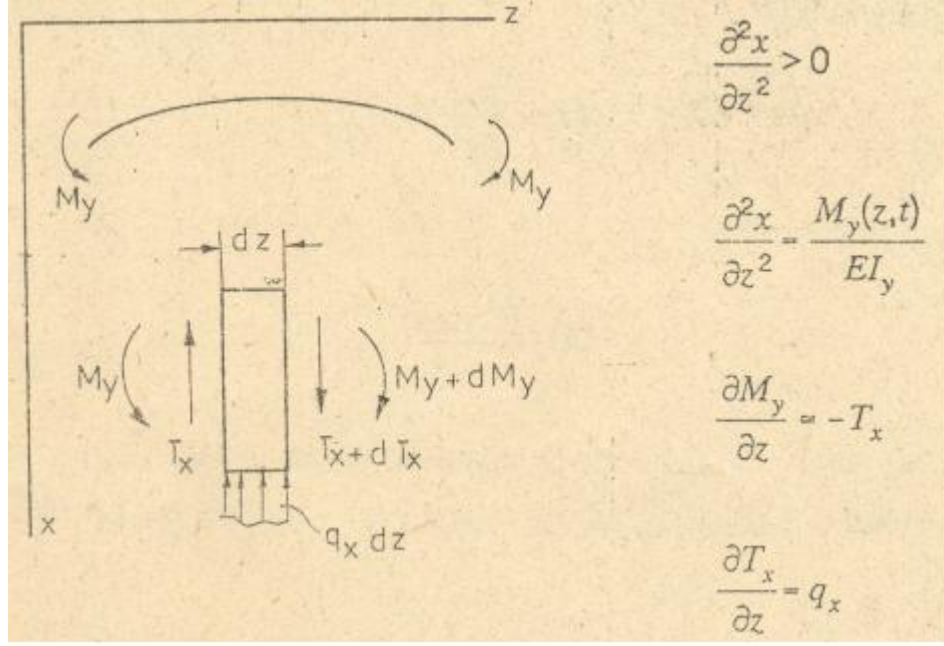
olur. Burada q_x ve q_y , x ve y doğrultusunda yayılı yükler olup Şekil 8'deki notasyona uyulursa, q_x (-x) yönünde ve q_y (+y) yönünde ise pozitif alınacaktır.



a) Kesit kuvvetlerinin tanımlanması



b) yz düzleminde elastik eğri moment bağıntıları



c) xy düzleminde elastik eğri moment bağıntıları

Şekil 8. Hareket denklemlerinin çıkarılmasında kullanılan notasyon ve açıklayıcı bilgiler

Burada q_x , x doğrultusunda yayılı atalet kuvvetinden ibarettir. Yayılı atalet kuvveti (merkezkaç kuvveti) negatif x yönünde olup Şekil 8'deki notasyona göre q_x 'in işaret kabulüne uygundur. O halde

$$q_x = \rho A \frac{\partial^2 x(z,t)}{\partial t^2}$$

dir. q_y ise yayılı ağırlık kuvveti ile negatif y yönünde yayılı (merkezkaç) atalet kuvvetinden oluşmaktadır ve buna göre

$$q_y = \rho A g - \rho A \frac{\partial^2 y(z,t)}{\partial t^2}$$

olur. Bu ifadeler (2) ve (3) de yerine konursa

$$EI_y \frac{\partial^4 x(z,t)}{\partial z^4} + \rho A \frac{\partial^2 x(z,t)}{\partial t^2} = 0$$

$$EI_x \frac{\partial^4 x(z,t)}{\partial z^4} + \rho A \frac{\partial^2 y(z,t)}{\partial t^2} = \rho A g$$

Bulunur. Bunlar hareketin xy ve yz düzlemlerindeki izdüşümlerine ait denklemlerdir. (6) homojen, 4. Mertebeden, lineer bir kısmi türevli diferansiyel denklemdir. (7) nin (6)dan farkı sağ taraflı olmasıdır. Ancak (7)n, n sağ tarafındaki ifade sabit sayı olup zamanla değişmemektedir. Dolayısıyla buradan gelecek özel çözüm statik halde yayılı ağırlık yükü altındaki elastik eğri denkleminde başkası değildir.

Şimdi (6) denklemini ele alalım. Bu kısmi türevli diferansiyel denklemin

$$x(z, t) = Z(z)T(t)$$

şeklinde çözümü olup olmadığını araştırıyoruz. Buna değişkenlerine ayrılabilen çözüm denir. (8)i (6) da yerleştirelim.

$$EI_y \frac{\partial^4}{\partial z^4} [Z(z)T(t)] + \rho A \frac{\partial^2}{\partial t^2} [Z(z)T(t)] = 0$$

$$EI_y T(t) \frac{\partial^4 Z(z)}{\partial z^4} + \rho A Z(z) \frac{\partial^2 T(t)}{\partial t^2} = 0$$

z ye göre türevleri (') ve zamana göre türevleri (') ile gösterirsek

$$EI_y T Z'''' + \rho A Z T'' = 0$$

elde ederiz. Buradan

$$\frac{EI_y Z''''}{\rho A Z} = \frac{-T''}{T}$$

bulunur. Bu eşitliğin solundaki oran z ye, sağındaki t ye bağlıdır. Eşitliğin sağlanması ise oranın hem z den hem t den bağımsız olması, yani bir sabit sayı olması ile mümkündür. Bu sabit sayıya p^2 diyelim. Ayrıca,

$$\frac{EI_y}{\rho A} = k^2$$

tanımlarsak

$$\frac{-T''}{T} = p^2$$

$$k^2 \frac{Z''''}{Z} = p^2$$

bulunur. (14) bağıntısını

$$T' + p^2 T = 0$$

şeklinde yazabiliriz. Bunun çözümü bildiğiniz gibi

$$T = A \cos(pt) + B \sin(pt)$$

dir(sabit sayıyı p^2 olarak tanımlamamız bu formda çözüm elde etmek için bir hazırlıktı). (15) bağıntısını da

$$Z'''' - \frac{p^2}{k^2} Z = 0$$

şeklinde yazalım.

$$\alpha^4 = \frac{p^2}{k^2}$$

şekline girer. Bunun karakteristik denklemi yazılır ve karakteristik kökleri bulunursa

$$r^4 - \alpha^4 = 0$$

dan

$$r_1 = i\alpha, r_2 = -i\alpha, r_3 = \alpha, r_4 = -\alpha, (i = \sqrt{-1})$$

olur ve buradan

$$Z = C_1 e^{i\alpha z} + C_2 e^{-i\alpha z} + C_3 e^{\alpha z} + C_4 e^{-\alpha z}$$

veya

$$Z = C \sin(\alpha z) + D \cos(\alpha z) + E \sinh(\alpha z) + F \cosh(\alpha z)$$

bulunur. Demek ki (6) denkleminin (8) şeklinde bir çözümü mümkündür. Burada T(t) ye ait (17) çözümündeki A ve B sabitleri başlangıç şartlarından, Z(z) ye ait (24) çözümündeki C,D,E,F sabitleri ise sınır şartlarından tayin edilecektir. Basit mesnetli milde sınır şartları her iki uçta sehim ve eğilme momentinin sıfır olmasıyla verilir. Yani

$$z = 0 \text{ da } x(0, t) = 0, \frac{\partial^2 x(0, t)}{\partial z^2} = 0$$

$$z = L \text{ de } x(L, t) = 0, \frac{\partial^2 x(L, t)}{\partial z^2} = 0$$

$x(z, t)$ nin $x=ZT$ biçiminde önerildiğini dikkate alırsak (25) sınır şartları

$$z=0 \text{ da } Z(0)=0; Z''(0)=0; z=L \text{ de } Z(L)=0, Z''(L)=0$$

şartları ile eşdeğerdir. Bu sınır şartları sırasıyla (24) de uygulanırsa

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & -\alpha^2 & 0 & 1 & 0 & \alpha^2 \sin(\alpha L) \cos(\alpha L) & -\alpha^2 \sin(\alpha L) \\ & & & -\alpha^2 \sin(\alpha L) \sinh(\alpha L) \cosh(\alpha L) & \alpha^2 \sinh(\alpha L) \alpha^2 \cosh(\alpha L) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C \\ D \\ E \\ F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

bağıntısı bulunur. Bu bir homojen denklem takımıdır. Bunun ilk iki denklemi

$$D + F = 0 - \alpha^2(D + F) = 0$$

şeklinde ve burada katsayılar determinantı sıfırdan farklı olduğundan (28) denkleminin sağlanması için $D=F=0$ olmalıdır. Demek ki basit mesnetli mil halinde $Z(z)$ de $\cos(\alpha z)$ ve $\cosh(\alpha z)$ fonksiyonları gözükmez. (27) nin kalan iki denklemi

$$C \sin(\alpha L) + E \sinh(\alpha L) = 0 - C \alpha^2 \sin(\alpha L) + E \alpha^2 \sinh(\alpha L) = 0$$

dır. Bunun katsayılar determinantı sıfıra eşit olmazsa yegane çözüm $C=E=0$ dır. Bu ise çubuğun xz düzleminde hareket bileşeninin olmaması demektir ve olayın fiziği ile çelişkilidir. O halde (29) denklem takımının katsayılar determinantı sıfıra eşit olmalıdır ki C ve E nin sıfırdan farklı çözümleri olabilsin. Buna göre katsayılar determinantı açılırsa

$$|\sin(\alpha L) \sinh(\alpha L) - \alpha^2 \sin(\alpha L) \alpha^2 \sinh(\alpha L)| = 2\alpha^2 \sin(\alpha L) \sinh(\alpha L) = 0$$

olmalıdır. Bunun sıfır olması için ya $\alpha=0$, ya $\sin(\alpha L)=0$ yahut $\sinh(\alpha L)=0$ olmalıdır. $\alpha=0$ olursa $\sin(\alpha z)$ ve $\sinh(\alpha z)$ çözümleri (24) de ortadan kalkar. D ve F ye ait denklem takımının katsayılar determinantı sıfıra eşit olduğundan sıfırdan farklı D ve F mümkün olur ve $Z(z)$ de $\cos(\alpha z)$ ve $\cosh(\alpha z)$ fonksiyonları 1 e dönüşür. Sınır şartları $D=-F$ alınırsa sağlanır ancak bu durumda $Z(z)=0$ a dejenere olur. O halde $\alpha^2=0$ olamaz. Diğer bir ihtimal $\sinh(\alpha L)=0$ olmasıdır. Halbuki Şekil 9'dan görüleceği gibi $\sinh(\alpha L)$ ancak $\alpha L=0$ dolayısıyla $\alpha=0$ için sıfırdır. Bu ise trivyal (kolayca bulunan, boş) $Z(z)=0$ çözümüne sevk ediyor. O halde $\sinh(\alpha L)$, $\alpha \neq 0$ için hiçbir zaman sıfır olamaz. Geriye $\sinh(\alpha L)=0$ olması ihtimali kalıyor. $\sin(\alpha L)=0$ olabilmesi için

$$\alpha L = i\pi, i = 0,1,2, \dots$$

değerlerini almalıdır, yani $\alpha L \neq 0$ olan αL değerleri mevcuttur. α nın (19), k nın (13) bağıntısından karşılıkları kullanılır ve (13) de bir değil her i değerine karşı gelen α lar olduğunu belirtmek için α yerine α_i yazılırsa

$$\alpha_i^2 L^2 = i^2 \pi^2 \rightarrow \alpha_i^2 L^2 = \frac{p_i}{k} L^2 = \frac{p_i L^2}{\sqrt{\frac{EI_y}{\rho A}}} = \sqrt{\frac{\rho A}{EI_y}} p_i L^2 = i^2 \pi^2$$

$$p_i^2 = \left(\frac{i^2 \pi^2}{L^2} \right)^2 \frac{EI_y}{\rho A} i = 0,1,2,3, \dots$$

bulunur. Demek ki (14) ve (15) denklemlerinde kullandığımız p^2 değerleri keyfi sabitler değil, (32) bağıntısını sağlayan sabitler olmalıdır. Bunlar o problemin sınır şartlarına bağlı elde edildiğinden problemin özdeğerleri (eigenwert (Alm.), eigenvalu veya charracteristic value (İng.)) adını alırlar. Bizim deneyimizde ise sistemin özdeğerleri sistemin tabii frekanslarıdır. Buna göre $i=0$ hali sükûnete tekabül ettiğinden göz önüne alınmazsa tabii (dairese) frekanslar

$$p_i = \left(\frac{i^2 \pi^2}{L^2} \right) \sqrt{\frac{EI_y}{\rho A}} i = 0,1,2,3, \dots$$

bağıntısıyla verilir. Farklı p_i lere bağlı farklı α_i ler elde edilmektedir, yani her bir p_i frekansında $Z(z)$ fonksiyonunda ortaya çıkan $\sin(\alpha_i z)$ ve $\sinh(\alpha_i z)$ ler farklı olacaktır. Şimdi her bir p_i frekansında milin alacağı biçimi gösteren $Z_i(z)$ fonksiyonu

$$Z_i(z) = C_i \sin(\alpha_i z) + E_i \sinh(\alpha_i z)$$

şeklindedir ($\cos(\alpha_i z)$ ve $\cosh(\alpha_i z)$ bulunamayacağını görmüştük). Sınır şartlarını yeniden uygulayalım.

$$z=0 \text{ da } Z_i(0)=0, Z_i''(0)=0$$

Şartları kendiliğinden sağlanır.

$$z=L \text{ de ise}$$

$$Z_i(L) = C_i \sin(\alpha_i L) + E_i \sinh(\alpha_i L) = 0 \quad Z_i''(L) = \alpha_i^2 (-C_i \sin(\alpha_i L)) + E_i \sinh(\alpha_i L) = 0$$

olmalıdır. $\alpha_i L = i\pi$ olduğundan $\sin(\alpha_i L) = 0$ dır. Halbuki $\sin(\alpha_i L)$ ancak $\alpha_i = 0$ için sıfır olup sınır şartlarını sağlamaz. Şu halde $E_i=0$ olmalıdır.

Demek ki p_i frekansına (özdeğerine) karşı gelen milin şekil fonksiyonu (özfonksiyonu)

$$(\alpha_i z) = C_i \sin\left(\frac{i\pi z}{L}\right) \quad Z_i(z) = C_i \sin$$

şeklindedir. Nu şekil fonksiyonları milin o frekansta alacağı şekli göstermekte olup, elastik eğri birinci doğal frekansta (kritik devir sayısında)

$$(\alpha_1 z) = C_1 \sin\left(\frac{\pi z}{L}\right) \quad Z_1(z) = C_1 \sin$$

şeklinde bir yarım sinüs dalgasını, ikinci kritik hızda

$$Z_2(z) = C_2 \sin\left(\frac{2\pi z}{L}\right)$$

şeklinde tam bir sinüs dalgasını, üçüncü kritik hızda

$$Z_3(z) = C_3 \sin\left(\frac{3\pi z}{L}\right)$$

şeklinde üç yarım sinüs dalgasını v.s. oluşturur. Böylece gözlemlerimize teorik bir izah getirmiş olduk. Bir doğal frekans ve buna tekabül eden özfonksiyon bir titreşim çeşidini (tarzını veya modunu) karakterize eder. Bu nedenle deneyimize titreşim modlarının tayini adını veriyoruz.

Görüldüğü gibi (6) denklemini sağlayacak sonsuz çarpım çözüm mevcuttur. Lineer diferansiyel denklemde ayrı ayrı çözümler toplamı da çözüm teşkil ettiğinden

$$x(z, t) = \sum_{i=1}^{\infty} Z_i(z) T_i(t)$$

olacaktır.

$$Z_i(z) = C_i \sin\left(\frac{i\pi z}{L}\right)$$

$$T_i = A_i \cos(p_i t) + B_i \sin(p_i t)$$

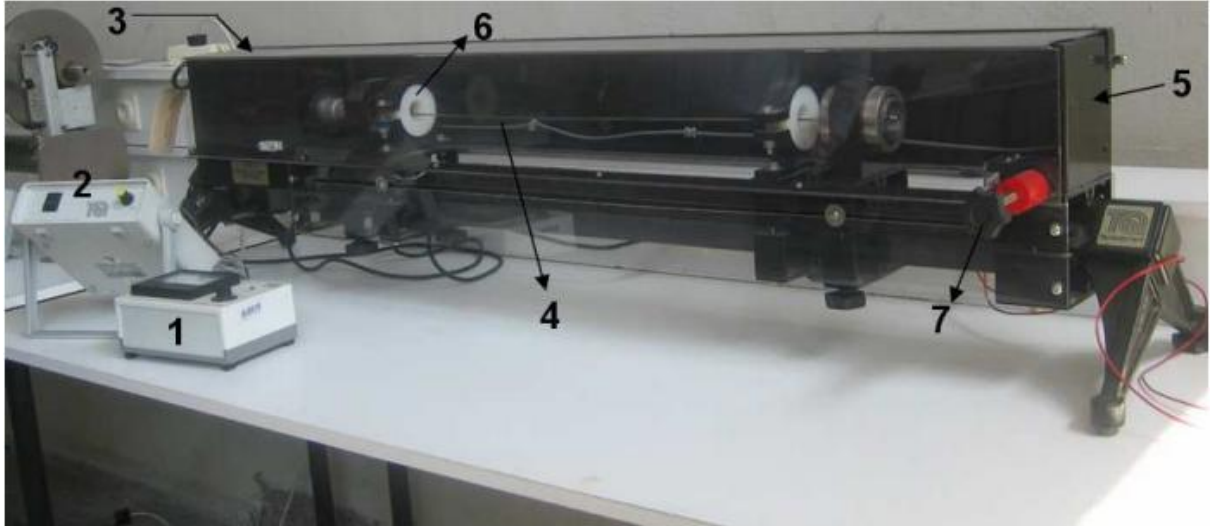
olup, $C_i A_i = K_i$ ve $C_i B_i = L_i$ tanımlarsak (40) ı şöyle yazabiliriz:

$$x(z, t) = \sum_{i=1}^{\infty} \sin\left(\frac{i\pi z}{L}\right) [K_i \cos(p_i t) + L_i \sin(p_i t)]$$

Burada K_i ve L_i başlangıç şartlarından tayin edilir. Yukarıdaki ifadeler basit-basit uç şartlarına sahip bir kiriş için çıkartıldı. Benzer yaklaşımla kirişin farklı uç şartlarına ait doğal frekansları ve mod şekilleri de elde edilebilir.

1. Deney Tesisatı

Deney tesisatı Şekil 10'da görülmektedir. Mil dolu daire kesitli kalın bir telden ibarettir. Basit mesnetleme şartlarını mümkün olduğunca sağlamak için belirli bir miktar yatak düzleminde dönebilen küresel rulmanlı yatak kullanılmıştır. Ayrıca, sol taraftaki kızak yardımıyla bu uça ankastr mesnet şartı da elde edilebilir. Tahrik ise 6000 dev/dk hıza kadar çıkabilen 188 Watt güce sahip bir doğru akım motoru ile sağlanmaktadır. Devir sayısının değiştirilmesi sürekli olup bir hız kontrol ünitesi ile gerçekleştirilmektedir. Devir sayısının ölçümü için bir analog takometre bulunmakla beraber daha hassas ölçüm için optik takometre de kullanılmaktadır. Deney yapabilmek için kapağın kapatılması ve sıkma vidasının sonuna kadar sıkılması gerekmektedir. Aksi halde devre tamamlanmaz ve motor çalışmaz.



Şekil 10. Deney Tesisatı:

- 1-Takometre, 2-Hız kontrol ünitesi,
3-DC motor, 4-Mil, 5-Koruyucu kapak, 6-Kızak, 7-Sıkma vidası.

2. Deneyin Yapılışı

Mil sabitlenir, sağ ve soldaki kızaklar kenarlara yaklaştırılarak kapak kapatılır, sıkma vidasının sonuna kadar sıkıldığından emin olduktan sonra hız kontrol ünitesi açılır. Buradaki düğme sağa döndürülerek milin dönme hızı kontrollü bir şekilde artırılır. Belirli bir devir sayısına erişildiğinde milin elastik eğri sehimlerinin devir sayısı sabit tutulsa bile artma eğilimi gösterdiği gözlenir. Bu devir sayısı takometreden okunur ve milin birinci kritik hızı olarak kaydedilir.

Devir sayısı arttırılmaya devam edilir. Bir müddet sonra elastik eğride orta noktada bölünme olur ve milin orta noktasının hemen hemen hareketsiz kaldığı gözlenir. Milin ortasında sehim sıfır olan noktaya nod(düğüm) denir. Bu şeklin ortaya çıktığı devir sayısı ölçülür. Bu da milin ikinci kritik devir sayısıdır.

Devir sayısı yine arttırılırsa milin elastik eğrisinde iki noktada sehimlerin sıfır olduğu gözlenir. Bu noktalar mil açıklığının 1/3 ü ile 2/3 ünde oluşur. Söz konusu durumun ortaya çıktığı devir sayısı ölçülerek milin üçüncü kritik devir sayısı olarak kaydedilir.

3. Ölçüm Değerleri ve Veriler

Deneyimizde kullanılan malzemeye ve geometrik ölçülere ait bilgiler şöyledir:

$$\text{Malzeme yoğunluğu } \rho = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Malzemenin elastisite modülü } 2.1 \times 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Kesit alanı } A = 0.25\pi D^2$$

$$\text{Çap } D = \dots$$

$$\text{Kesit alan atalet momenti } I_x = I_y = \pi \frac{D^4}{64}$$

Buna göre basit mesnetli mil için;

$$p_i = \left(\frac{i^2 \pi^2}{L^2} \right) \sqrt{\frac{EI_y}{\rho A}} i = 0, 1, 2, 3, \dots (\text{basit mesnetli mil için})$$

Ankastre-basit uçlu mil için;

$$p_1 = \left(\frac{25\pi^2}{16L^2} \right) \sqrt{\frac{EI_y}{\rho A}}, p_2 = \left(\frac{81\pi^2}{16L^2} \right) \sqrt{\frac{EI_y}{\rho A}}, p_3 = \left(\frac{169\pi^2}{16L^2} \right) \sqrt{\frac{EI_y}{\rho A}} \left[\frac{rad}{s} \right]$$

Bu şekilde ilk üç kritik hız rad/s cinsinden hesaplanır, ölçülen devir sayılarıyla kıyaslama yapmak için hesaplanan p_i değerleri dev/dk ya çevrilir.

4. İstenenler

Teorik frekanslar hesaplanacak ve ölçülenlerle kıyaslanacaktır. Farklılık varsa bunlar teorik gerekçeleriyle açıklanacaktır.

KURUTMA DENEYİ

1. Amaç

Deneyde kurutmaya etki eden farklı parametrelerin nem oranını nasıl değiştirdiği amaçlanmıştır.

2. Giriş

Deneyin amacı belli bir neme sahip toprağın kurutulması, kurutmak için harcanan ısı kaybının belirlenmesi ve kurutma cihazının çalışma prensibinin incelenmesidir.

3. Teori

Kurutma, suyun ya da başka uçucu sıvıların evaporasyon ile uzaklaştırılmasıdır. Birçok katı materyal, üretimlerinin bazı aşamalarında kurutmaya ihtiyaç duyarlar. Kurutma; enerji-şiddetli bir prosestir ve sıvının termal kurutmaya uzaklaştırılması mekanik ayırma teknikleriyle ayrılmasından daha maliyetli olacaktır.

Isı ve kütle aktarımı işlemlerinin her ikisi de kuruma hızına etki eden faktörler arasında yer almaktadır. Ticari kurutucular da tasarlanırken bu aktarım mekanizmaları göz önünde bulundurularak, kurutma sırasında gerekli ısının en verimli şekilde kullanılması amaçlanır.

Kurutulması amaçlanan nemli maddenin fiziksel durumu ve içerdiği nemin konumu en başta ele alınması gereken özelliklerdir. Katının levha, granül, kristal, pelet, çamur, çözelti veya toz halinde olması, sıvının katının yüzeyinde, içerisinde veya her iki durumda bulunması gibi özellikler kurutucu seçimi etkilemektedir.

Kurutma işlemi öncesinde ısı işlemler dışında, diğer yöntemlerle katı maddenin suyunun uzaklaştırılması daha ekonomik bir kurutma işlemi gerçekleştirmeyi sağlar. Bu nedenle kurutulan ürüne öncelikle mekanik yöntemler olarak tanımlanan filtrasyon, presleme, santrifüjleme, çökeltme, eleme gibi işlemler uygulanır ki işlemler, daha az güç gereksinimi ve uzaklaştırılan birim su içi daha az maliyet gerektirmektedir.

Kurutma ekipmanı seçimindeki en önemli faktör beslemenin doğası ve konsantrasyonudur. Kurutma ekipmanları aşağıdaki tasarım ve işleme özelliklerine göre sınıflandırılabilirler:

- (a) Kesikli ya da sürekli.
- (b) Beslemenin fiziksel hali: sıvı, balçık, ıslak katı.
- (c) Katının nakil metodu: bant, döner, akışkanlaştırılmış.
- (d) Isıtma sistemleri: iletim, taşınım, ışıınım.

Bir kurutucu seçerken düşünülmesi gereken faktörler şunlardır:

1. Besleme koşulu: katı, sıvı, macun, toz, kristaller.
2. Besleme konsantrasyonu, başlangıçtaki sıvı içeriği.
3. Ürün şartları: gereken kuruluk, fiziksel hal.
4. Gereken iş yeteneği.
5. Ürünün ısı duyarlılığı.
6. Buharın doğası: toksikliği, yanıcılığı.
7. Katının doğası: yanıcılığı, toksikliği.[1]

Isı ve kütle transferinde kullanılan boyutsuz sayılar

Reynolds Sayısı: Akışın karakterinin belirlenmesinde önemli bir boyutsuz sayıdır. Akışın türbülanslı veya laminar olduğunu belirtir. Akışta atalet kuvvetlerinin viskoz (sürtünme) kuvvetlere oranını gösteren ve akışkanlar mekaniğinde son derece önemli olan bu sayı şu şekilde gösterilir;

$$R = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Burada akışkanın hızı V, hidrolik çapı D ve Dinamik viskozite μ ile gösterilmiştir.

Prandtl Sayısı: Isıl ve hız sınır tabaka içinde ısı ve momentum yayılımının bir ölçüsüdür ve şu şekilde ifade edilir.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$$

Burada α ısıl yayılım katsayısıdır.

Schmidt Sayısı: Kütle transferinde Pr sayısı yerine kullanılır. Schmidt sayısı momentum difüzyonunun kütle difüzyonuna oranı olarak aşağıdaki gibi tarif edilir;

$$Sc = \frac{v}{D_{AB}}$$

Burada D_{AB} ikili kütle difüzyon katsayısıdır.

Lewis Sayısı: Kütle transferinde kullanılan bir diğer boyutsuz sayı ise Lewis sayısıdır. Burada ısı difüzyonunun kütle difüzyonuna oranı tarif edilir ve şu şekilde gösterilir;

$$\frac{Sc}{Pr}$$

Lewis sayısı eğer 1 ise $Sc = Pr$ a eşittir. Aynı zamanda $Nu = Sh$ ifadesi alınabilir.

Nusselt sayısı: Taşınım ile ısı transferinde önemli bir boyutsuz sayıdır. Bu boyutsuz sayı yüzeyde taşınım ile ısı geçişinin bir ölçüsüdür. Taşınım ile ısı transferinin iletimle ısı transferine oranıdır.

$$Nu = \frac{hL}{k}$$

Burada ısı taşınım katsayısı h , Nusselt sayısı Nu , karakteristik uzunluk L , akışkanın ısı iletim katsayısı k olarak ifade edilir.

Sherwood sayısı: Kütle transferinde Nusselt yerine Sherwood sayısı kullanılır. Bu parametre yüzeydeki boyutsuz konsantrasyon basamağı olarak tarif edilir ve yüzeyde meydana gelen taşınım ile kütle transferinin miktarının belirlenmesi için çok önemli bir parametredir.

$$Sh = \frac{h_m L}{D_{AB}}$$

Burada kütle taşınım katsayısı h_m (m/s) ile gösterilmiştir.

Kurutmanın Amacı

Kurutma işlemi çeşitli amaçlarla uygulanmaktadır. Bunları aşağıdaki başlıklar altında toplamak mümkündür:

Hacim veya Ağırlığı Düşürmek

Hacim ve ağırlığı düşürerek maddelerin taşınma, depolanma ve kullanılma işlemlerini daha kolay ve ekonomik hale getirmek mümkündür. Taşıma maliyeti, maddenin içerdiği nem miktarı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Onun için özellikle, uzak mesafelere taşınan maddelerin nem oranlarının mümkün olduğu kadar düşük olması gerekmektedir. Kurutma işleminin enerji yoğun bir işlem olduğu göz önüne alınarak, enerji maliyetleri ile taşıma maliyetleri arasında bir dengenin kurulması gerekmektedir. Örneğin kömür-su karışımları gemiye yüklenmeden önce, karışımın içerdiği suyun uzaklaştırılması ve belli bir ölçüde kurutulması gerekmektedir. Aynı şey birçok hammadde için geçerlidir.

İstenen Özelliklerde Ürün Elde Etmek

Kurutma ve nem içeriğini ayarlamanın en önemli amaçlarından biri de istenen özelliklere sahip hammadde veya ürün elde etmektir. Örneğin çimento sanayiinde kullanılan kömürü daha kolay öğütülebilmesi için kurutulmaktadır. Seramik endüstrisinde hammadde olarak kullanılan kaolininin, kullanılmadan önce kurutulması gerekmektedir. Gıda sanayinde meyve ve sebzeler kurutularak hem daha uzun ömürlü hem de daha kolay taşınır ürünlere dönüştürülmektedir. Yine bazı kimyasal maddeler, tablet haline getirilmek amacıyla kurutulmaktadırlar.

Ürünleri Sterilize Etmek ve Korumak

Özellikle ilaç ve gıda endüstrilerinde, ürünleri sterilize etmek veya korumak amacıyla ürünlerin nem içeriği ayarlanmaktadır. Böylece, nemin neden olduğu küflenme, çürüme ve bozulmaları önlemek mümkün olmaktadır.

***Çözelti ve Sulu Atık Çözeltilerden Yan Ürün Elde Etmek**

Bazı endüstriyel proseslerde, çözelti halinde bulunan ara ürünlerden son ürüne geçmek için kurutma uygulanmaktadır. Örneğin, deterjan bir sıvı çözelti halinde üretilmekte ve bu ara ürün sprey kurutucularda kurutularak toz deterjanlara dönüştürülmektedir. Bunun gibi süt tozu, üretilirken de benzer bir uygulama söz konusu olmaktadır. [2]

Temel kurutu tipleri

1. Döner kurutucu:

Prensibi: Serbest haldeki granüler katıyı kurutmak için en uygun kurutucu tipidir. Döner kurutucuda kurutulmuş ürün içinde genellikle amonyum sülfat, nitrat ve fosfat tuzları ile vinil reçineleri ve kum bulunmaktadır.

Avantajları:

1. Düşük kurulum maliyeti
2. Düzgün sıcaklık kontrolü
3. Yüksek ısıl etkinlik
4. Düşük işçilik gereksinimi
5. Uygun kurutma zamanı sağlaması

Dezavantajları:

- Yüksek atık oluşturma eğilimi
- Kararlı olmayan kurutma süresi
- Ürün yapısının bozulmasıdır.

2. Vakumlu döner kurutucu:

Prensibi: Kesikli kurutuculardır. Vakumlu döner fırınlar yatay olarak bağlanmış ve içinde kurutulacak katıyı merkezindeki bir mil aracılığıyla karıştıran silindirik bir kabuktan oluşur. Karıştırıcı ya sürekli olmayan tek spiralden ya da sürekli olan çift spiralden oluşur. Kurutucu üst tarafta bulunan tek bölmeden doldurulurken, alt tarafta bulunan tek ya da daha fazla bölmeden boşaltılmaktadır. Vakum ise alışlagelmiş herhangi bir metotla uygulanmaktadır.

3. Tepsi kurutucular:

Prensibi: Bu kurutucuda kurutulması tercih edilen malzemeler süzme sonucu oluşan kek, boyar maddeler, farmakolojik maddeler ve küçük miktarlarda bulunan malzemelerdir.

Avantajları:

- Hassas ürün muamele özelliği
- Ürün kaybı olmaması
- Temizleme kolaylığı
- Mekan ihtiyacının az olmasıdır.

Dezavantajları:

- Uzun kurutma süresi ve yüksek ekipman gerekliliğidir

4. Sürekli ve Dolaşımli püskürtücü:

Prensibi: katalizör taneciklerini, pigmentler, sentetikler, naylon ve yapay ipek gibi doğal fiberler ile fındık, meyve, sebze gibi yiyecek ürünlerini kurutmak için kullanılır.

Avantajları:

- Ürün kalite kontrolünün iyi sağlanması
- Sıcaklık, nem, hava akış kontrol aralığının ayarlanabilmesi
- Yüksek ısıl etkinlik

Dezavantajları:

- Yüksek kurulum maliyeti
- Sık bakım gereksinimi
- Kalite kontrol güçlüğüdür.

5. Püskürtmeli kurutucu

Prensibi: kurutulacak malzeme bir lüle ile atomize edilir ve sıcak gazın geçebilmesi için konik biçiminde bir alt kısmı olan dikey silindirik kapalı odacığa ince bir şekilde püskürtülerek dağıtılır. Damlacıklar hızlı bir biçimde buharlaşır, böylece kurutulmuş olan katı da odacıktan boşaltılır.

Avantajları:

- Kısa kurutma zamanı
- Isıya duyarlı ürünlere karşı uygulanabilir
- Partikül boyutu ve yoğunluğunun kontrol edilebilir olması

Dezavantajları:

- Düşük katı içeriği
- Gerekli ekipman bakımı.

6. Flaş kurutucu:

Prensibi: Yaş ürün ısıtılmış bir akımın içine yollanır. Gaz akımının hızı katı partikülleri kurutma odacığından siklon ayırıcıya ya da kolektöre taşır.

Avantajları:

- Kısa kurutma zamanı
- Düşük ürün boşaltım sıcaklığı

Dezavantajları:

- İç yüzeyin aşınma ihtimali
- Yüksek sıcaklıkta yanıcı maddelerin kurutulma güçlüğüdür.

7. Akışkan yatak kurutucular:

Prensibi: Akışkanlaştırma aracı sıcak gaz ise ve partiküller de yaş ise kuruma işlemi çabuk gerçekleşir. Tüm partiküller sıcak gaz ile çevrildiğinden ve partiküller ile gaz arasındaki bağıl hız yüksek olduğundan yüksek hızda ısı transferi gerçekleşir ve bunun sonucu olarak da kuruma çabuk olur.

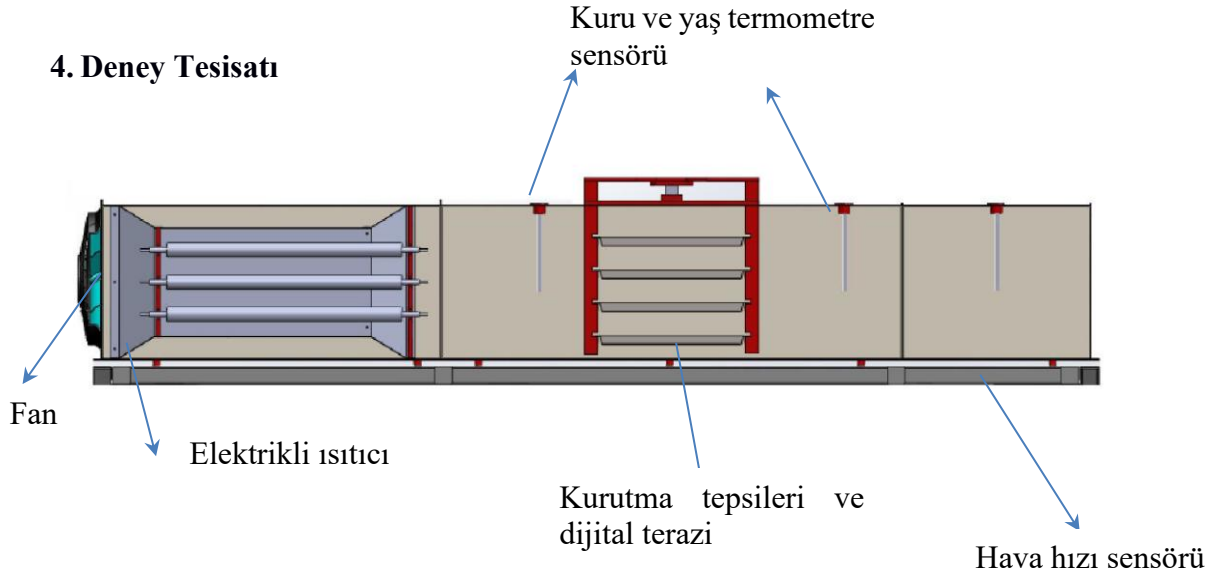
Avantajları:

- Hızlı ve kararlı ısı transferi
- Kısa kurutma zamanı gereksinimi
- Küçük yer gereksinimi

Dezavantajları:

- Yüksek güç maliyeti ve kararsız kuruma zamanıdır. [3]

4. Deney Tesisatı



Şekil 2. Kurutucu Deney Tesisatı

- Kuru Termometre Sensörü
- Yaş Termometre Sensörü
- Nem Sensörü
- Hava hızı sensörü
- Elektrikli Isıtıcı
- Dijital Terazi (yük hücresi sensörü)

5. Deneyin Yapılışı

Sistem rezistans ve fan çalıştırılarak dengeye gelmesi sağlanır. Nemli toprak belli miktarda alınarak tepeye konularak dijital teraziden ağırlığı ölçülür. Sistemde yaş ve kuru termometre olmak üzere üçer adet sıcaklık sensörü bulunmaktadır. Isıtıcı öncesi giriş sıcaklıkları, ısıtıcıdan sonraki sıcaklıklar ve çıkış sıcaklıkları 5 dakika aralıklarla ölçülerek kaydedilir. En son olarak anemometreden hava hızı ölçülür. Nemli topraktaki kütleli azalma (Buharlaştıran su) miktarına göre hesaplamalar yapılır.

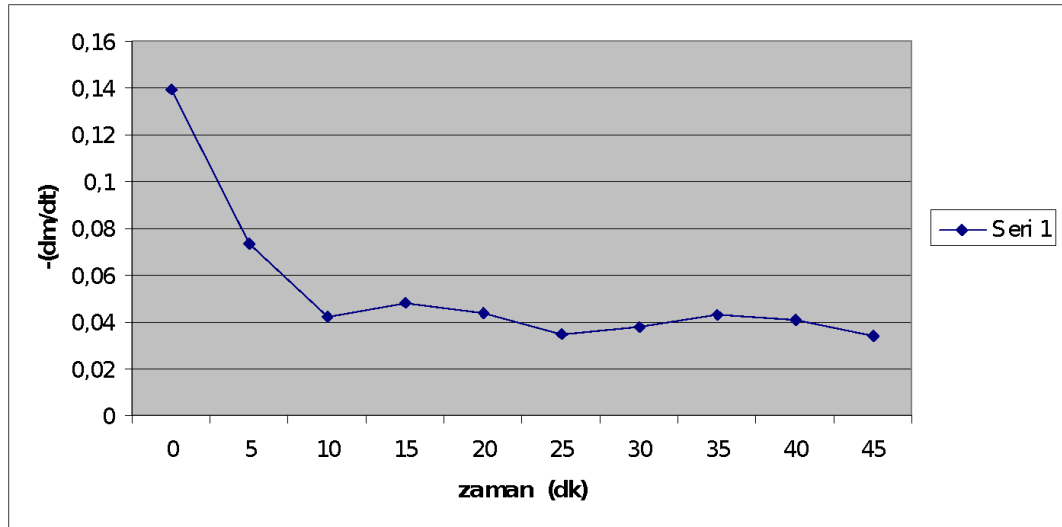
6. Sonuçlar

6.1 Tablolar

Tablo 1 Deney sonucu hesaplanan değerler

t (dk)	m _{toprak} (gr)	-(dm/dt) (gr/dk)
0	55.215	0.139
5	54.683	0.073
10	54.480	0.042
15	54.266	0.048
20	54.003	0.044
25	53.825	0.035
30	53.650	0.038
35	53.444	0.043
40	53.222	0.041
45	53.035	0.034

6.2 Grafikler



Grafik 1 $-(dm/dt)$ -t grafiği

7. Yorum

Deneyde amacımız elimizdeki nemli toprak numunesinin ısıtılmakta olan hava yardımıyla neminin ne kadarının uzaklaştırıldığını ve ısı kaybını hesaplamaktır.

Süreç mühendisliğinde doğru yerde doğru prosesi seçmek ve üretime geçmek çok önemlidir. Kurutma prosesini seçerken ise bazı unsurlar göz önünde bulundurulur. Bunlar ürünün kalitesini koruması, sıcaklık değişkeninden hangi oranda etkileneceği, ürünün fiziksel ve kimyasal yapısı, yer ihtiyacı ve nakil koşulları olarak ifade edilebilir. Kurutucuların amacı, bir madde içindeki nemi her zaman %100 uzaklaştırmak değildir. Maddelerdeki nem oranının bazen belirli bir değerde olması istenebilir.

Her 5 dakikada bir yapılan ölçümler sonucu nemli toprağın ağırlığının içinden buharlaşan su nedeniyle azaldığı gözlemlendi. Deney sırasında ölçülen kuru termometre sıcaklığı kuru havanın sıcaklığını, yaş termometre ise havanın içindeki nemin sıcaklığını göstermektedir. Isı kaybını hesaplarken deney düzeneğinin tepsilerinin olduğu bölümde ısı kaçırlarının olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca kurutulacak maddeden nemin buharlaşması için gerekli gizli ısıyı hava sağlamıştır.

8. Kaynaklar

1. Rankel AS, Lieberman HA, Shiffmann RF, "Drying" **The Theory and Practice of Industrial Pharmacy**, Ed.: L Lachman, HA Lieberman, JL Kanig, Lea and Febiger, 1986, s. 47-65.
2. Moyers CG, Baldwin GW, "Psychrometry, Evaporative Cooling and Solid¹; Drying" **Perry's Chemical Engineers' Handbook** (Ed.: RH Perry, DW, Green, JO Maloney), McGraw-Hill, New York, 1999, s. 12/1-90.
3. McCabe VL, Smith SC, **Unit Operations of Chemical Engineering**, 3rd ed. McGraw-Hill, 1976, s.269-510.
4. Travers, DN, "Heat Transfer and the Properties of Steam" **Pharmaceutics the Science of Dosage Form Design**, (Ed. ME Aulton), Churchill Livingstone, 1990, s. 525-537.
5. Sucker H, "Waermetransport" **Pharmazeutische Technologie**, (Ed. H Sucker, P Speiser), Georg Thieme Verlag, 1978, s.166-174.
6. Travers DN, "Drying" **Pharmaceutics: The Science of Dosage Form Design**, (Ed. ME Aulton), Churchill Livingstone, 1990, s. 629-646.
7. Colaizzi JL, Pittlic WH, "Oral Drug Delivery Systems for Prescription Pharmacy" **Pharmaceutics and Pharmacy**

Practice, (Ed. GS Banker, RK Chalmers), J.P. Lippincott Company, USA, 1982, s. 213-216.

8. Bauer KH, Frömming, KH, Führer C, Pharmazeutische Technologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1986, s. 89-101.

9. Rahm H, Stahl PL, "Trocknen" Pharmazeutische Technologie, (Ed. H Sucker, P Speiser), Georg Thieme Verlag, 1978, s.190-202.

10. Mitchell J. Jr, "Determination of water", Standard Methods of Chemical Analysis, (Ed. FJ Welcher), Van Nostrand Comp. Inc. Princeton USA, s. 526-532.

11. Vogel AI, Elementary Practical Organic Chemistry, Part III, Quantitative Organic Analysis, Longman, London, 1971, s. 813-823,

12. Carstensen JT, Zoglio MA, "Tray drying of pharmaceutical wet granulations", J Pharm Sci, 1982, 71, s. 35-39.

13. Sucker H, "Wirbeischichten" Pharmazeutische Technologie, (Ed. H Sucker, P Speiser), Georg Thieme Verlag, 1978, s.133-135.

14. Duschler G, Carius G, Bauer KH, "Single-step granulation": Development of vacuum-based IR drying method (Pilot Scale Results), Drug Dev Ind Pharm, 23, 119-126, 1997.

15. Duschler G, Carius G, Bauer KH, "Single-step granulation method with microwaves": Preliminary studies and pilot scale results, Drug Dev Ind Pharm, 1995, s. 21, 1599-1610.

16. Kiekens F, Cordoba-Diaz, M, Remon JR "Influence of chopper and mixer speeds and microwave power level during the high-shear granulation process on the final granule characteristics, Drug Dev Ind Pharm, 1999, 25, s. 1289-1293.

17. Jones DM, Fluidized Bed Processing and Drying, Pharm. Eng. March 1991.

18. Külling W, Simon EJ, Fluid-bed Technology Applied to Pharmaceuticals, Pharm Tech March, 1980, s. 79-83.

19. Vemuri, S, "Lyophilization Cycle Development for Interleukin-2" Develop Biol Standart, 1991, 74, s. 341 -351.

20. Sinnott, R.K., "Chemical Engineering Design", Coulson & Richardson's Chemical Engineering Series, 4th edition, Volume 6, 2005

GÜNEŞ ENERJİSİ DENEYİ

1. Amaç

Güneş enerjili sıcak su sistemlerinin incelenmesi ve tabii dolaşımli güneş enerjili su ısıtıcılarının temel özelliklerinin belirlenmesi.

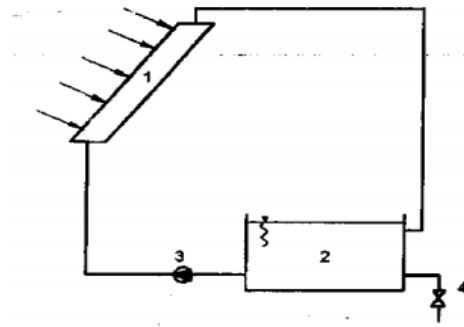
2. Giriş

2.1. Günümüzde artan enerji kullanımı insanları yeni enerji kaynakları aramaya itmiştir. Son yıllarda ucuzluğu ve bol miktarda bulunması sebebiyle kullanımı hızla artan bir enerji türünde güneş enerjisidir. Özellikle güneş enerjisi potansiyeli büyük olan ülkeler bu enerjiden birçok alanda (ısınma, su ısıtma, kurutma, damıtma, soğutma, elektrik üretimi (güneş pilleri) vb. yararlanmaktadırlar.

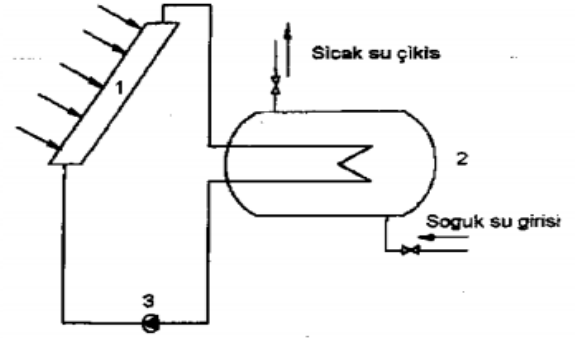
3. Teori

a. Genel Bilgiler

Güneş enerjili sıcak su sistemleri devre şekline göre; açık devreli veya kapalı devreli olarak iki kısımda incelenebilir. Toplayıcıda dolaştırılan akışkan (su, antifrizli su, donmayan sıvı veya hava) tesisatta sıcak su gereksinimi için kullanılıyorsa açık devreli sistem, (Şekil 1), bir ısı değıştircisi ile depodaki akışkan ısıtılıyorsa yani toplayıcıda hep aynı akışkan dolaştırılıyorsa kapalı devreli sistem olarak adlandırılır.



Şekil 1. Açık devreli sistem



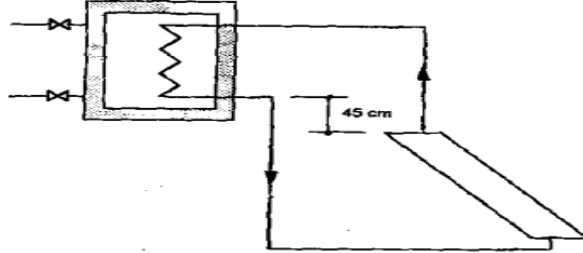
Şekil 2. Kapalı devreli sistem

- 1. Kollektör;
- 1. Kullanma suyu;
- 2. Pompa;
- 4. Şebeke Suyu

- 1. Kollektör;
- 2. Boyler;
- 3. Pompa

Güneş enerjili sıcak su sistemleri, akışkanın akış şekline göre de; doğal taşınımlı (Şekil 3) ve zorlanmış taşınımlı (Şekil 1-2) sıcak su sistemleri olarak iki grupta incelenebilir.

Doğal taşınımlı sistemlerde devredeki akışkanın akışı yoğunluk farkından dolayı doğal taşınımla olurken, zorlanmış taşınımlı sistemlerde akış bir pompa vasıtasıyla sağlanmaktadır.



Şekil 3. Doğal taşınımlı, kapalı devreli sistemler

b. Temel Kavramlar

Tesisin günlük sıcak su miktarı ihtiyacı

$$\dot{V}_{su} = N \cdot M \cdot KS \dots\dots\dots 1$$

Burada;

$\dot{V}_{su}$: Tesisin günlük sıcak su tüketimi (lt/gün)

N: Daire sayısı

M: Bir dairede oturan kişi sayısı

KS: Kişi başı sıcak su tüketimi. Kişi başına kullanılan sıcak su miktarı, genellikle 40-60 lt/gün arasındadır.

Tesisin günlük sıcak su enerjisi ihtiyacı

$$Q_{gün} = \dot{m}_{su} \cdot c_p \cdot (T_{is} - T_{şeb}) \dots\dots\dots 2$$

Burada;

$\dot{m}_{su}$: Tesisin günlük sıcak su tüketimi (kg/gün)

$Q_{gün}$: Günlük enerji ihtiyacı kJ/gün

T_{is} : İstenilen su sıcaklığı (50-60 °C)

$T_{şeb}$: Şebeke suyu sıcaklığı. Hesaplamanın yapıldığı yer ve aya bağlı olarak meteorolojiden alınan 100 cm derinlikteki en düşük toprak sıcaklığı.

Kollektör ortalama sıcaklığı

$$T_{kol} = \frac{T_{şeb} + 2 \cdot T_{is}}{3} \dots\dots\dots 3$$

Kollektör Verimi

$$I_{\text{rad}} = \frac{Q_{\text{rad}} \cdot S}{t} \dots\dots\dots 4$$

$$\eta_{\text{kol}} = a_0 - a_1 \frac{(T_{\text{kol}} - T_{\text{ort}})}{I_{\text{rad}}} - a_2 \frac{(T_{\text{kol}} - T_{\text{ort}})^2}{I_{\text{rad}}} \dots\dots\dots 5$$

Burada;

Q_{rad} : Yatay yüzeye gelen güneş radyasyonu miktarı (kJ/m² gün)

S: Düzeltme faktörü

t: Güneşlenme süresi (saat/gün)

T_{ort} : Günlük ortalama sıcaklık

a_0, a_1, a_2 : Verim eğrileri sabitleri. Kollektör üreten firmalar tarafından tespit edilir.
($a_0=0,80$; $a_1=13$; $a_2=0,05$)

Anlık verim

$$\eta = \frac{\dot{m}_{\text{akışkan}} \cdot c_p \cdot (T_{\text{Sç}} - T_{\text{Sg}})}{A \cdot I_{\text{rad}}} \dots\dots\dots 6$$

Burada:

$\dot{m}_{\text{akışkan}}$: Sistemde dolaşan suyun debisi (kg/sn)

T_{Sg} : Suyun kollektöre giriş sıcaklığı

$T_{\text{Sç}}$: Suyun kollektörden çıkış sıcaklığı

Gerekli kollektör alanı

$$A = \frac{Q_{\text{gün}}}{\eta_{\text{kol}} \cdot Q_{\text{rad}} \cdot S} \dots\dots\dots 7$$

Gerekli kollektör sayısı

$$n = \frac{A}{A_k} \dots\dots\dots 8$$

Burada:

n : Gerekli kollektör sayısı

A : Gerekli toplam kollektör alanı (m²)

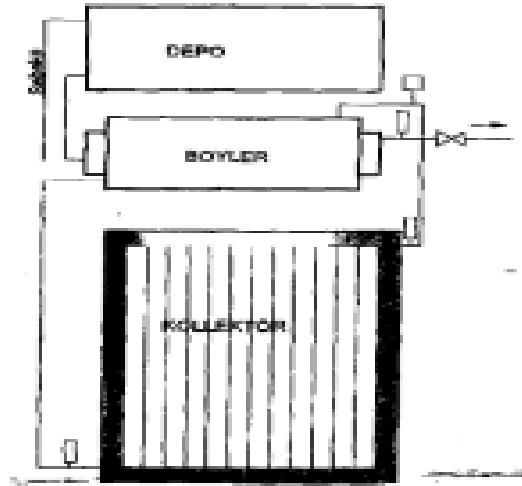
A_k : Bir kollektörün alanı (m²)

Boyle kapasitesi

$$V = 50 \cdot n \cdot A_k \dots\dots\dots 9$$

Boylar hacmi, sistemde kullanılan kollektör alanına bağlıdır. Bu değer 1 m2 kollektör alanı için 40-60 lt arasındadır.

4. Deney Tesisatı



Şekil 5. Deney düzeneği

5. Sistemin Çalışması ve Deneyin Yapılması

Sistem düz levha tipi bir toplayıcıdan (kollektörden), bir boylerden ve bir depodan ibaret kapalı devreli tabii dolaşimli bir sıcak su ısıtma sistemidir. Kollektör içinde birbirlerine paralel dikey olarak sıralanmış ve siyaha boyanmış bakır borular mevcuttur. Bu borular içerisinde kapalı devre halinde ısıtma suyu dolaşmaktadır. Kollektör içindeki borular içinde bulunan su güneş ışınımı sayesinde ısınır ve ısınan ısıtma suyunun yoğunluğu azalır. Yoğunluğu azalan su kollektörün üst kısımlarına doğru yükselerek üst kısmından boylere girer. Boylere giren ısıtma suyu boylerdeki kullanma suyunu ısıtır. Boylerde kullanma suyunu ısıtan su soğur ve yoğunluğu artar. Yoğunluğu artan bu su kollektörün alt kısmına doğru hareket eder. Güneş ışınımı olduğu ve toplayıcı sıcaklığı boyler sıcaklığından büyük olduğu müddetçe sirkülasyon devam eder.

Güneş enerjili su ısıtma sistemi sabah saatlerinde güneşe doğru uygun bir şekilde konumlandırılır. Bir süre sonra sistem içindeki su ısınarak sirkülasyona başlar. Deney esnasında sistemin çalışma prensibi incelenecek ve kollektör giriş-çıkış sıcaklıkları ile kullanma suyu sıcaklığı ölçülecektir.

6. Ölçüm Değerleri

Temel Veriler:

$N=1$, $M=5$, $KS=50$, $S=0.90$, $\dot{m}_{akışkan}=0,009$ kg/s, $T_{is}=50$ °C

$T_{şeb}=9,6$ °C (Mart-Bursa), $A_k=1.6$ m²

$$Q_{rad}=12348 \text{ kJ/ m}^2.\text{gün (Mart-Bursa)}$$

$$t=5,64 \text{ saat/gün (Mart-Bursa), } T_{ort}=8,4 \text{ °C (Mart -Bursa)}$$

Ölçülen Değerler

$$T_{sg}=$$

$$T_{sç}=$$

Deney Föyü İçin İstenenler

- 1) Verilen ölçüm değerleri kullanılarak Bursa ili için, kollektör alanı, kollektör sayısı, yönü, eğim açısının, veriminin ve boyler hacminin belirlenmesi
- 2) Bursa'nın yanı sıra seçtiğiniz farklı bir ilin meteorolojik verilerini araştırarak, o il için benzer şekilde kollektör boyutlandırılmasının yapılması. Bulunan iki sonucun kıyaslanarak yorumlanması. Hangi ilde kullanılması gereken kollektör sayısı kaç adet çıktı? Sebeplerini tartışınız.
- 3) İnternette firma kataloglarını kullanarak sistemin ekonomik analizinin yapılması

DEBİ ÖLÇÜMÜ VE YÜK KAYIPLARININ TESPİTİ

1. Amaç

Akış ölçümü deney düzeneği, sıkıştırılamayan bir akışkanın tipik akış ölçüm metodlarını öğretmek ve ‘Süreklilik ve Bernoulli’ denklemlerinin uygulamasını açıklamak amacıyla tasarlanmıştır. Ayrıca akışı tanımlayan her bir elemanda meydana gelen basınç kayıplarının tespiti de deneyin amaçlarındandır.

2. Giriş

Akış bir venturimetre, bir orifis metre ve bir rotametre ile tanımlanmaktadır. Debi herhangi bir kesitten birim zamanda geçen akışkan miktarıdır. Hacimsel ve kütleli olmak üzere ikiye ayrılır. Eğer birim zamanda ölçülen birim; hacim ise hacimsel debi, kütle ise kütleli debi olarak isimlendirilir. Burada deney düzeneğinde bulunan venturimetre, orifis metre ve rotametre ise genellikle kesit değişimi prensibi ile debi ölçümünü sağlayan elemanlardır.

3. Teori

Bir boru boyunca sürekli, adyabatik ve sıkıştırılmaz bir akışkan için Bernoulli denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$P_A + \frac{1}{2}\rho U_A^2 + \rho g z_A = P_B + \frac{1}{2}\rho U_B^2 + \rho g z_B + \Delta P_{KT} + \rho g h_m \quad (1)$$

Burada;

g: Yerçekimi ivmesi ($9.81 \frac{m}{s^2}$)

ΔP_{KT} : Giriş ve çıkış arasında sürtünme ve daralma sonucunda ısı enerjisi olarak kontrol hacminden ayrılan toplam kayıp enerjisi.

$\rho g h_m$: Pompa gücü

Süreklilik Denklemi:

$$Q' = U \times A$$

(2)

$$m' = Q' \rho = \rho U A$$

(3)

Şeklinde verilmektedir.

3.1. Venturimetre

Süreklilik denklemi

$$\rho U_A A_A = \rho U_B A_B$$

(4)

Bernoulli denklemi

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{U_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{U_B^2}{2g}$$

(5)

Bu iki denklemden

$$U_B^2 = \frac{2g}{1 - \left(\frac{A_B}{A_A}\right)^2} \left[\frac{P_A}{\rho g} - \frac{P_B}{\rho g} \right] \quad (6)$$

veya

$$U_{Bteorik}^2 = \frac{2g}{1 - \left(\frac{A_B}{A_A}\right)^2} [h_A - h_B] \quad (7)$$

elde edilir. Bu denklemden hesaplanacak olan U_B hızı o noktadaki teorik hız değeri olacaktır. Bir de deneysel olarak elde edilen kütleli debiden faydalanılarak gerçek hız;

$$m'_{gerçek} = \rho_{su} U_{gerçek} A$$

(8)

denklemden elde edilir. Gerçek hızın teorik hıza oranı C_d ile gösterilen boşaltma katsayısını verecektir.

$$C_d = \frac{U_{gerçek}}{U_{teorik}}$$

(9)

3.2. Orifis metre

E ve F noktaları arasında Bernoulli ve Süreklilik denklemlerinden hareketle;

$$U_{Fteorik}^2 = \frac{2g}{1 - \left[\frac{A_F}{A_E}\right]^2} \left[\frac{P_E}{\rho g} - \frac{P_F}{\rho g} \right] \quad (10)$$

veya

$$U_{Fteorik}^2 = \frac{2g}{1 - \left[\frac{A_F}{A_E}\right]^2} [h_E - h_F] \quad (11)$$

Denklemden F noktasının teorik hızı elde edilir. Deneysel olarak elde edilen kütesel debiden faydalanılarak gerçek hız ise;

$$m'_{gerçek} = \rho_{su} U_{gerçek} A \quad (12)$$

Denklemden elde edilir. Gerçek hızın teorik hıza oranı C_d ile gösterilen boşaltma katsayısını verecektir.

$$C_d = \frac{U_{gerçek}}{U_{teorik}} \quad (13)$$

3.3. Dik Açılı Dirsek

G ve H noktaları arasında Bernoulli ve Süreklilik denklemlerinden hareketle;

$$U_{Hteorik}^2 = \frac{2g}{1 - \left[\frac{A_H}{A_G}\right]^2} \left[\frac{P_G}{\rho g} - \frac{P_H}{\rho g} \right] \quad (14)$$

veya

$$U_{Hteorik}^2 = \frac{2g}{1 - \left[\frac{A_H}{A_G}\right]^2} [h_G - h_H] \quad (15)$$

Denklemden H noktasının teorik hızı elde edilir. Deneysel olarak elde edilen kütesel debiden faydalanılarak gerçek hız ise;

$$m'_{gerçek} = \rho_{su} U_{gerçek} A \quad (16)$$

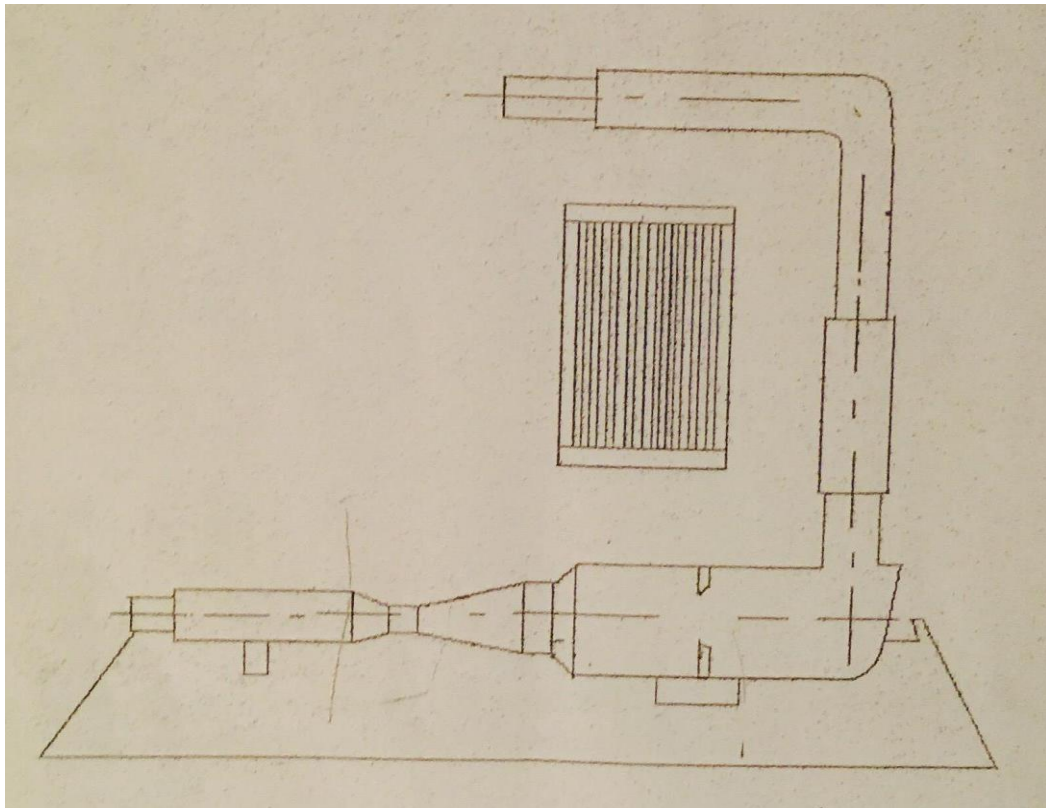
Denkleminden elde edilir. Gerçek hızın teorik hıza oranı C_d ile gösterilen boşaltma katsayısını verecektir.

$$C_d = \frac{U_{gerçek}}{U_{teorik}} \quad (17)$$

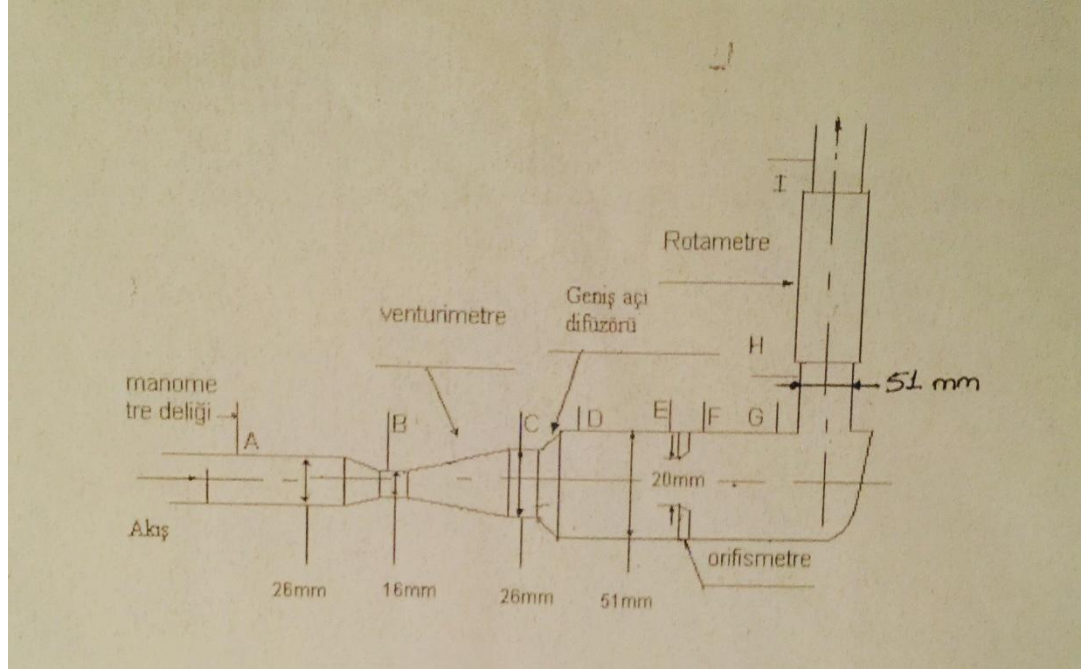
4. Deney Tesisatı

Su, dolu bir tanktan pompa yardımıyla venturimetreye gönderilmektedir. Venturimetre daralan bir bölüm, bunu izleyen bir kısılma bölümü ve uzun bir genişleyen bölümden oluşmaktadır. Venturi çıkışında ani bir genişleme sonucunda akışkan kesiti değişmeyen uzun bir boru ortasına yerleştirilmiş orifismetre ve daha sonra da boru sonuna yerleştirilmiş dik açılı bir dirsekten geçerek, rotametreye ulaşır. Rotametre çıkışında ise akışkan bir hortum ile tekrar tanka geri gönderilir. Böylece kapalı bir sistem oluşturulur.

Deney düzeneğinde her bir elemana bağlı toplamda 9 adet manometre mevcuttur. Bunların her birinin çıkış noktaları şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği



Şekil 2. Deney tesisatında gerekli ölçüler ve manometre çıkışları

5. Deneyin Yapılışı

- Tankın içine pompanın boyunu aşacak şekilde su doldurulur.
- Pompa çalıştırılarak, sistemin içerisinde su sirkülasyonu sağlanır.
- Rotametrede debi ayarı yapılır.
- Ayarlanan bu debide manometrelerden değerler okunur.
- Tank içinde suyun ağırlığını ölçmeye yarayan terazi önce kabın içine su doldurulmak suretiyle dengeye getirilir.
- Sistemde dolaşan su debisinin ölçümü amacıyla, terazinin bir tarafına ağırlıklar konulup, diğer tarafına ise terazi dengeye ulaşınca kadar su doldurulur ve bu arada geçen süre kronometre yardımıyla tespit edilir.
- Aynı işlemler farklı debi değerleri için tekrar edilerek rotametrenin kalibrasyon eğrisi çıkarılır.

6. Ölçüm Değerleri

Tablo 1. Ölçüm sonuçları

	MANOMETRİK SEVİYELER (mm)			
DENEY NO	VENTURİMETRE	ORİFİSMETRE	ROTAMETRE	$\Delta T(\text{sn})$
1				
2				
3				
4				
5				
6				

7. İstenenler

Deney raporunun bir kapak sayfası olmalıdır (bir örneği aşağıda verilmektedir). Deney raporu aşağıdaki içeriğe uygun olarak hazırlanmalıdır:

1. Giriş

Burada kısaca deneyin amacı açıklanmalıdır.

2. Ölçümler

Burada deneyin yapılışı kısaca açıklanmalı ve ölçüm verilerinin kaydedildiği tablo sunulmalıdır.

3. Hesaplamalar ve değerlendirmeler

Burada aşağıdaki işlemler yapılmalıdır.

3.1- Ölçüm değerlerine göre venturimetre, orifismetre ve tank ile hacimsel debileri hesaplayınız. Venturimetre için geniş kesitin çapı $D=26$ mm, dar kesitin çapı $d=16$ mm, debi katsayısı $C_d=0,98$ dir. Orifismetre için ise geniş kesitin çapı $D=51$ mm, dar kesitin çapı $d=20$ mm, debi katsayısı $C_d=0,61$ dir.

Deneylerden birinin hesaplarını raporda detaylı olarak yazınız. Hesaplanan debileri ve rotametre debilerini bir tabloda gösteriniz. Ayrıca bir grafik üzerinde venturimetre, orifismetre ve rotametre debilerini tank ile ölçülen hacimsel debilere bağlı olarak karşılaştırmalı olarak gösteriniz.

3.2- Tank ile yapılan hacimsel debi ölçümünü doğru kabul ederek venturimetre ve orifismetre için yeni debi katsayıları ve rotametre için bir düzeltme katsayısı belirleyiniz. Bu

amaçla her deney seti için bu katsayıları yeniden belirleyiniz ve bir tabloda ve grafik üzerinde debilere bağlı olarak karşılaştırmalı olarak gösteriniz.

Ayrıca aritmetik ortalamalarını hesaplayarak yeni debi katsayısı ve düzeltme katsayısı olarak alınız.

3.3- Basınç farklarını hacimsel debiye bağlı olarak gösteren bir diyagram çiziniz.

4. Sonuçlar ve yorumlar

Burada deneyler ve hesaplamalarla ilgili yorumlar yapılmalıdır.

BOYUT ÖLÇÜMÜ VE ANALİZİ

1. Amaç

Bir cismin uzunluğu, sıcaklığı, ağırlığı veya rengi gibi çeşitli fiziksel özelliklerinin belirlenme işlemleri ancak ölçme tekniği ile mümkündür. Bir ürünün istenilen özelliklere sahip olup olmadığı ölçme ve kontrol ile tespit edilir.

2. Giriş

Bilinmeyen bir değerin, kendi cinsinden bilinen ve birim olarak kabul edilen değerlere mukayesesine ÖLÇME denir. Her ne kadar insanlar çeşitli duyu organları ile bu tür fiziksel özellikleri ayarlanabilirse de kişiden kişiye bu özelliklerin farklılıklar göstermesi yüzünden, bu algılama işlemleri yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle pratikte insan duyularından etkilenmeyen çeşitli ölçme aletleri, sistemleri ve yöntemleri geliştirilmiştir.

Ölçme işlemlerinin hemen bütün mühendislik dalları ile yakından ilişkisi vardır. Özellikle laboratuvar çalışmalarının her kademesinde ölçmeye gerek duyulmaktadır. Ölçmeler yapılırken sistem seçimi, ölçme sonuçlarının çeşitli istatistiki sonuçlar ile değerlendirilmesi ve ölçmedeki hassasiyetlerin belirlenmesi, ölçme tekniğinin temel konularıdır.

Ölçme teknikleri son 25-30 yılda büyük gelişim göstermiştir. 1950'li yıllarda elektronik devrelerdeki, 1960'lı yıllarda lazer ve optik cihazlardaki, 1970'li yıllarda fiber optik elemanlardaki yenilikler, bilgisayarlardaki işlem hızlarının artması ve boyutlarının küçülmesi ölçme tekniklerinin gelişmelerine olumlu etkiler yapmıştır.

3. Teori

Üretimi içeren boyutsal ölçülerdeki temel prensip, üretim tasarlanan değerler içerisinde kalıp kalmadığının kontrolüdür. Bu nedenle, endüstrinin her alandaki seri üretimi arttırmak, maliyeti düşürmek ve kaliteyi iyileştirmek ancak ölçme ve kalite kontrolüyle gerçekleşmektedir. Böylece, tasarladığı en ekonomik üretim sistemiyle çalışan endüstri kuruluşları standart ölçme sistemine bağlı kaldığı sürece ayakta durabilmektedir.

3.1. Ölçme Çeşitleri

Ölçme işlemi üç değişik şekilde yapılır:

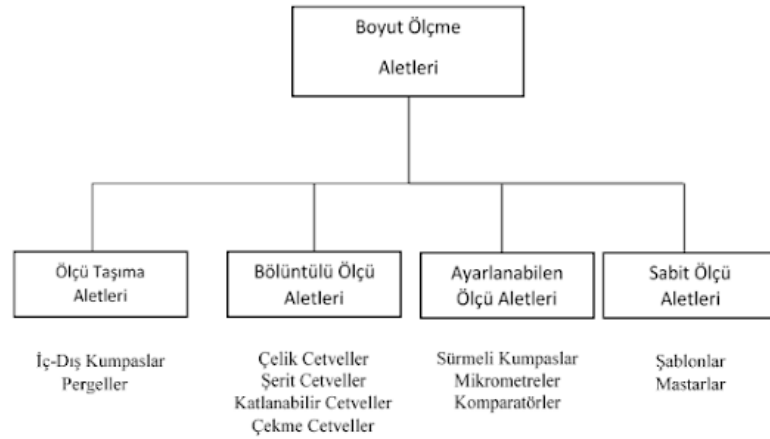
- Doğrudan doğruya ölçme (direkt)
- Dolaylı ölçme (endirekt)
- Mutlak ölçme

a) Doğrudan doğruya ölçme (direkt): Master olarak alınmış bir birim ile ölçülecek değer doğrudan doğruya karşılaştırılması suretiyle yapılan ölçme işlemidir. Bu ölçme işleminde ölçü, doğrudan doğruya okunabilmektedir. Doğrudan doğruya ölçmeye örnek olarak; çelik cetvellerle, sürmeli kumpaslarla yapılan ölçme işlemi verilebilir.

b) Dolaylı ölçme (endirekt): Bu ölçme işleminde ise, ölçü aleti belli bir kıyaslama parçasına ayarlanır ve ölçme işlemi bu kıyaslama parçasına göre yapılır. Pergel, iç ve dış çap kumpasları, çatal ve tampon mastarları ve Jhonson mastarları ile yapılan ölçme işlemleri dolaylı ölçmelerdir.

c) Mutlak ölçme: Ölçülecek değer sayısal değerin ile ölçme sonundaki diğer değerlerin sayısal değerleri arasındaki matematiksel ilişkiler dikkate alınarak yapılan ölçme işlemine denir.

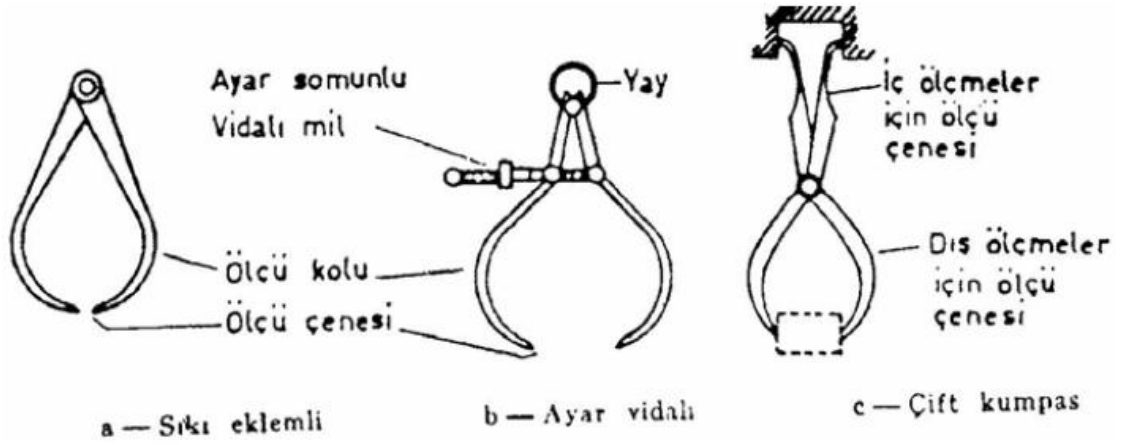
3.2. Boyut Ölçme Aletleri



Ölçü Taşıma Aletleri

Doğrudan ölçülemeyen iç ve dış çapların mukayeseli olarak ölçülmesinde veya kontrol edilmesinde kullanılan ölçü aletlerindendir. Genel olarak iç ve dış çapların yaklaşık ölçü alma veya kontrolünde kullanılan bu ölçü aletlerine iç ve dış çap kumpasları denir.

Bunlar basit bölüntüsüz ölçü aletleri olup iş parçalarından ölçü almak, ölçü taşımak veya ölçülerini kontrol etmekte kullanılırlar.



Şekil 1 Ölçü Taşıma Aletleri

Bölüntülü Ölçü Aletleri

Uzunlukların ölçülmesinde kullanılan, üzerinde çizgisel bölüntüleri bulunan ölçü aletleridir.

Çelik Cetveller: Makine atölyelerinde en çok kullanılan ölçü aletlerindendir. Daha çok ölçme ve markalama işlemlerinde kullanılırlar. Bükülebilen, yaylanabilen ve çeneli çelik cetvel gibi değişik tip ve ölçülerde yapılanları vardır. Yay çeliğinden yapılan çelik cetvelin genişliği 20 mm. boyları ise 100-1000 mm. ve kalınlıkları 0.1 mm ölçülerinde yapılırlar. Çelik cetveller 0-5 mm. aralıklı olarak ince çizgi bölüntülü yapılabildiği gibi 1 mm. aralıklı olarak yapılanları da vardır. Bazıları ise bir tarafı (mm) bölüntülü diğer tarafı ise (") inç bölüntülü olarak yapılırlar.

Şerit Metreler: Büyük uzunlukların ölçülmesinde kullanılırlar. Genellikle 5,10,20,30 ve 50 m. uzunluğunda 12-13 mm. genişliğinde paslanmaz yay çeliğinden yapılırlar.

Katlanır Metreler: Hassas işlerde kullanılmazlar. Bir metrede 1 mm. lik okuma hatası kabul edilebilecek mertebededir. Bu metreler tahta, çelik ve alüminyum gibi malzemelerden yapılırlar. Çoğunlukla ağaç işleri ve metal doğramacılık ile inşaat sektöründe kullanılmaktadırlar.

Çekme Ölçü Cetveli: Bu cetveller, dökümcülükte kullanılan modellerin yapımında kullanılmaktadır. Döküm ile yapılacak parçalarda, döküm malzemesinin soğuması esnasında meydana gelecek boyut değişiminden doğacak hataları ortadan kaldıracak şekilde yapılırlar.

Tablo 1 Cetvel Uzunluęuna ve Döküm Malzemesine Göre Çekme Payları

Cetvel Uzunluğu (L)	Geniřlik	Kalınlık	Uygulama Örnekleri	
500	28	7	%1	Gri Döküm
			%1.5	Prinç ve hafif metaller
			%2	Çelik Döküm
1000	30	8	%2.5	Döküm, Metal modellerde çift çekme ölçüsü

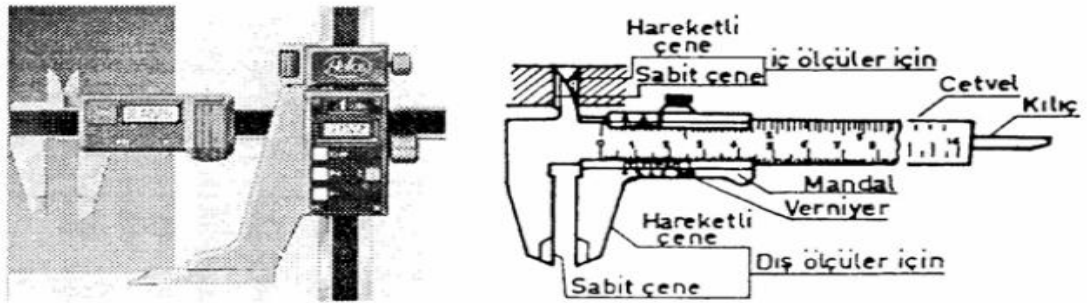
Ayarlanabilen Ölçü Aletleri

Bu ölçü aletleri, ölçü taşıma (bölüntüsüz) aletlerinden farklı olarak istenilen ölçüde ayarlanabilen veya ölçüleri üzerinde doğrudan okuma imkânı sağlayan aletlerdir.

Sürmeli Kumpaslar: Sürmeli kumpaslar uzunluk ölçülerini, iç çap, dış çap, derinlik ve kanal gibi ölçüleri ölçme işlemlerinde kullanılır. Kumpaslar sürgü taksimatlarına göre;

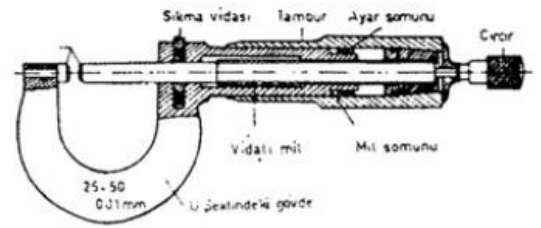
- 1/10 mm. sürgü taksimatlı kumpaslar (0.1 mm. hassasiyetli),
- 1/20 mm. sürgü taksimatlı kumpaslar (0.05 mm. hassasiyetli),
- 1/50 mm. sürgü taksimatlı kumpaslar (0.02 mm. hassasiyetli),

Olarak isimlendirilirler.



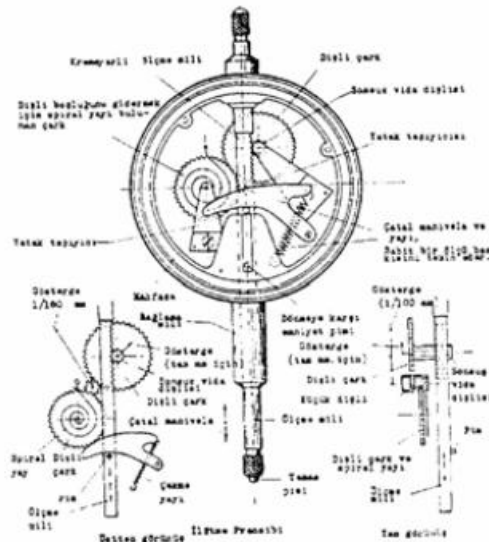
Şekil 2 Dijital ve mekanik sürgülü kumpaslar

Mikrometreler: Kumpaslara nazaran daha hassas ve okuma kolaylığı sağlayan ölçü aletidir. Genellikle daire kesitli parçaların çaplarının ve düz parçaların kalınlıklarının ölçülmesi işleminde kullanılırlar. Mikrometreler krom, nikel ve vanadyum alaşımlı çelik malzemelerden yapılip ince işlemlere tabi tutulurlar. Mikrometrelerde ölçme aralığı tamburun 1 tam devir yaptığıında hareketli çene vida adımının değerine bağlıdır. Örneğin 100 eşit aralığa bölünmüş tambur bir tam devir yaptığıında çene 1 mm. hareket etmiş ise bu mikrometrenin ölçü hassasiyeti $1/100=0.01$ mm. olacaktır.



Komparatörler: Atölyelerde en çok kullanılan ibreli ölçü ve kontrol aletlerindendir. Komparatörler görünüş olarak saate benzer ve saat ibresi ile birlikte hareket eden bir de uç kısmı vardır. Komparatörlerde ölçme alanları 0-10 mm, bazılarında 50 mm'ye kadar, kadran üzerindeki iki çizgi aralığı genelde 0.01 mm yi (0.001-0.00 ~ ve 0.005 mm yi) gösterecek şekilde hazırlanmıştır.

- [1] İş parçalarının ölçü farklılıklarının kontrolünde,
- [2] Düzlem yüzeylerin düzgünlüğü ve salgılarının kontrolünde,
- [3] İş tezgahlarının ayarlanmasında,
- [4] Yüzeylerin paralellik, eğiklik ve dikliklerinin kontrol ve ayarlanmasında,
- [5] Dış ve iç derinliklerin ölçülmesi ve kontrolünde kullanılırlar.



45

Sabit Ölçü Aletleri

Mastarlar ölçme ve kontrol işlemlerinde, ölçme ve kontrol aletleri ile birlikte kullanılan aletlerdir. Endüstri parçalarının kendi aralarında değiştirilebilir olmalarına olanak sağlamak için sabit ölçü mastarları geliştirilmiştir. Bunlar endüstrinin en hassas ölçü elemanlarıdır ve bunlar yardımıyla diğer ölçü aletlerinin ayar, kontrol ve kalibrasyonu yapılır. Bunların boyutları, ölçme yüzeylerinin düzgünlükleri ve birbirlerine göre paralellikleri çok hassas toleranslar içindedir.

Mastarlarla dolaylı veya doğrudan ölçme ve kontrol işlemi yapılır. Bu amaçla kullanılan mastarları iki grupta toplamak mümkündür.

- Johanson mastarları,
- Sınır mastarları,
 1. Çatal mastarlar
 2. Tanpon mastarlar
 3. Vida mastarları

Johanson Mastarları: Dikdörtgen prizma şeklinde yüksek karbonlu paslanmaz çeliklerden yapılmıştır. Yüzeyleri çok hassas işlemlere tabi tutulmuştur. Ölçme yüzeyleri o kadar hassas yapılmışlardır ki herhangi bir ölçüyü elde etmek için birbirine birleştirdiklerinde kuvvetli bir şekilde yapışmaktadır. Birbirine yapışma kuvveti 40 kg/cm^2 civarında olduğu yapılan deneyler sonucu tespit edilmiştir. Takım halinde bulunan Johanson mastarları 18-32-47-56-76-78-87-103-111-118 ve 128 parçalı olarak hazırlanmıştır. Johanson mastarları ile ölçme ve kontrol işlemleri 20°C sıcaklıkta yapılmalıdır. Mastarlar üzerinde belirtilen değerler mastar anma ölçüleridir. Johanson mastarları kullanılma amaçlarına göre dört değişik hassasiyet derecesinde yapılırlar.

1. AA grubu Johanson mastarları, bu mastarlar Johanson mastarlarının en hassas olanlarıdır. Bunlar ölçme laboratuvarlarında kullanılırlar. Toleransları $\pm 0.00005 \text{ mm}$ dir.

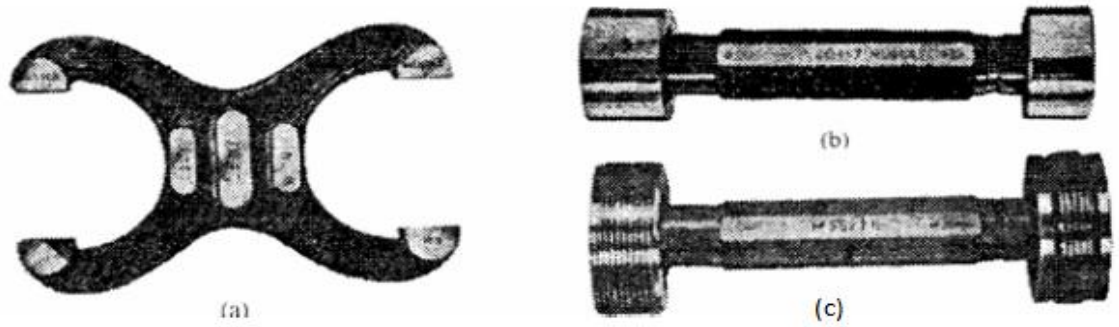
2. A grubu Johanson mastarları ölçme ve kontrol aletlerinin ayar ve kontrolünde kullanılırlar. İkinci derecede hassasiyete sahip olup toleransı $\pm 0.0001 \text{ mm}$ dir.

3. B grubu Johanson mastarları, hassas olarak yapılması gereken aleti kalıp ve benzeri takımların yapımında kontrol amacı ile kullanılır. Toleransı $\pm 0.0002 \text{ mm}$ dir.

4. C grubu Johanson mastarları, mastarların en fazla toleransa sahip olanlarıdır. Atölyelerde kontrol, markalama vs. gibi işlerde kullanılırlar. Toleransları $\pm 0.0004 \text{ mm}$ dir.

Sınır Masterları: Makine parçalarının imalatı sırasında, verilen ölçü sınırlarına dikkat edilerek istenilen ölçülerde yapılması gerekir. Makine parçalarının istenilen ölçü sınırları içerisinde yapılıp yapılmadığını kontrol için hazırlanmış aletlere sınır masterları denir. Sınır masterlarını kullanım alanlarına göre, çatal, tanpon, vida masterları olmak üzere üçe ayırabiliriz.

Çatal masterlar; silindirik parçaların seri olarak ölçülmesi ve kontrollerinde kullanılırlar. 100 mm çapa kadar iki taraflı daha büyük çaplarda tek taraflı hilal biçiminde yapılırlar. Çatal masterlar alıştırma derecelerine göre farklı renklerde yapılırlar (mavi, siyah, sarı, açık yeşil). İlgili anma çapı ve tolerans değerleri master gövdesi üzerinde belirtilmiştir.



Şekil.5. Sınır Masterlar a) Çatal b) Tanpon c) Vida

Tanpon masterlar; silindirik parçaların seri olarak ölçülmesi ve kontrollerinde kullanılırlar. Delik ölçülerinin istenilen ölçü sınırları içerisinde işlenip işlenmediklerini tanpon masterlar ile kontrole ederiz. Tanpon masterının iki ucundaki silindirik baş kısımlarından birisi geçer diğeri ise geçmez taraftır. Tanpon master ölçüleri de çatal masterlarda olduğu gibidir. Yalnız tek değişikliği, çatal masterların tersine küçük ölçülü olan ağız kısmı geçer büyük olan geçmez tarafını oluşturur.

Vida masterları; hassas çalışması gereken taşlanmış erkek ve dişi vidaların hassaslığının kontrolü için kullanılır. Master gövdesi üzerinde bulunan (M) veya (V) harfleri masterın metrik veya parmak sistemine ait olduğunu, daha sonra gelen makamlar vida ölçüsü ve adını gösterirler.

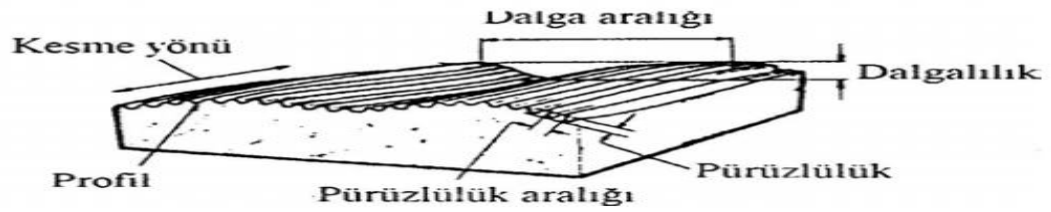
3.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü ve Analizi

Bir yüzeyin elde edilmesinde görünüşü, rengi, paslanma ve aşınma direnci, sertliği, emme hareketi, yağlama ve toleransları gibi pek çok önemli noktalar rol oynar. Bunlardan

bazıları doğrudan yüzey kalitesiyle bağlantılıdır. Yüzey hassasiyeti üretimde uygulanan işleme metotlarına göre değişmektedir. Taşlama, frezeleme, planyalama ve diğer metotlarla işlenmiş bir malzeme yüzeyi, sayısız küçük pürüzlerin birleşmesiyle oluşur. Yüzeyi tamamen kaplayan bu pürüzler, o yüzeyin görünüşünü, kalitesini ve uygunluğunu belirtir. Daha iyi bir yüzey elde etmek için, önceden işlenmiş yüzeylerdeki pürüzler mümkün olduğu kadar yok edilmeye çalışılır. Bu amaçla taşlama, honlama, lepleme ve süper ince işleme metotları kullanılır.

Makine parçalarının tezgahlar ile yapımı sırasında elde edilen yüzeyler etkin yüzeylerdir. Yüzey pürüzlülüğü ve şekil hataları önemsenmeyerek, projede tayin ve yapımında elde edilen yüzeylere geometrik yüzeyler denmektedir. Şekil ve dalgalanma hataları dikkate alınmadan sınırlanmış bir alandaki yüzeyin belirli bir şekilde tanımlanan bütün bozuklukların tamamına yüzey pürüzlülüğü denir.

Yüzey normalde pürüzsüzdür, ancak dalgalı olabilir. Herhangi bir durumda yüzey mükemmel bir düzlüğe sahip olamaz ve her zaman pürüzlü bir dokuya sahip olacaktır. Bazı yüzeyler hem pürüzlü hem de dalgalı olabilir.



Şekil.6. Yüzey Karakteristiği

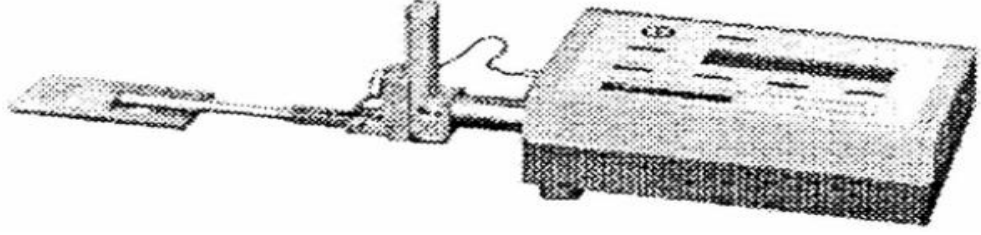
Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü

Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü için birçok cihaz ve teknik kullanılmaktadır.

Mühendislik açısından en önemlileri;

1. Elektriksel entegre eden iğneli cihazlar,
2. Dokuma (parmak-tırnak) ile yüzey pürüzlülüğü tayini ve mekaniksel cihazlar şeklinde bu tekniğin geliştirilmesi,
3. Çeşitli tür ışık girişim mikroskopları,
4. Yüzeyin plastik modelinin çıkartılması,

Şeklinde sıralanabilir.



Şekil.7. Elektronik Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

Yüzey Pürüzlülüğünün Analizi

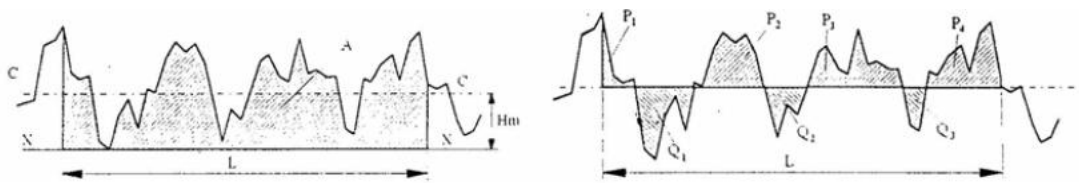
Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde farklı ülkelerde kullanılan birkaç parametre belirtilmiş ve kullanılmıştır. Aşağıda isimleri ve kısaltmaları verilen en çok bilinenleridir.

1. Aritmetiksel ortalama sapma: R_a
2. Kareler ortalaması karekökü (r.m.s.): R_q
3. Numunedeki çukur yüksekliğinin maksimum sivriliği: R_y, R_{tmax}
4. R_t değerlerinin ortalaması: $R_{tm}, R_{z(DIN)}$
5. Profilin sivrilik aralıklarının ortalaması: S_m

1.Aritmetiksel Ortalama Sapma (R_a): en çok kullanılan ve geçerli uluslararası pürüzlülük parametresidir. Matematiksel ifadesi,

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx$$

Şeklinde verilir. Yüzey profilinin grafiksel izinden R_a değeri aşağıdaki şekilde bulunabilir.



Şekil.8. Aritmetiksel Ortalama Sapma R_a 'nın Grafiksel Gösterimi

1. Yüzeyin genel yönünde ve en derin çukurluk için uygun bir X-X çizgisi çizilir.
2. Uygun bir örnekleme boyu L seçilir.
3. X-X çizgisi ile eğri arasında kalan A alanı bulunur. Merkez çizgisi C-C ile X-X çizgisi arasındaki dik mesafe (H_m);

$$H_m = \frac{A}{L}$$

4. C-C ile yüzey profili ikiye bölünür. Eğri ile C-C çizgisinin üzerindeki kapalı alanların toplamı P ile altta kapalı alanlar toplamı Q eşitlenir. Buna göre R_a aşağıdaki şekilde ifade edilir. Burada P ve Q alanları mm^2 , L mm olarak verilir.

$$R_a = \frac{\sum P + \sum Q}{L}$$

Tablo 2. Çeşitli Son İşlemlere Göre R_a değerleri

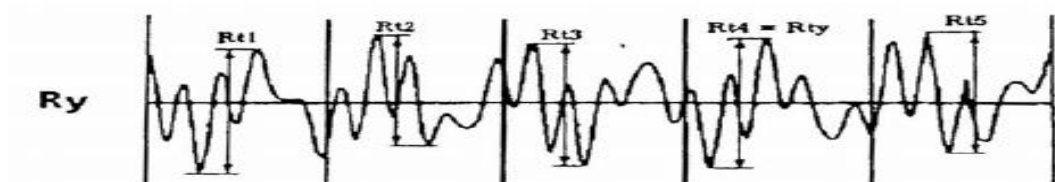
Son İşlem	R_a değeri (μm)
Çok ince işleme	0.05-0.2
Perdahlama	0.05-0.4
Honlama	0.1-0.8
Taşılama	0.1-1.6
Elmas takım ile tornalama	0.1-0.4
Tornalama	0.4-6.3
Delik işleme. genişletme	0.4-6.3
Çekme	0-3.2
Broşlama	0.8-3.2
Ekstrüzyon	0.8-3.2
Frezeleme	0.8-6.3
Planyalama	1.6-12.5

2. Kareler Ortalaması Karekökü R_q : R_q , R_a 'ya karşı rms parametresidir. Matematiksel olarak:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2(x) dx}$$

İle ifade edilir.

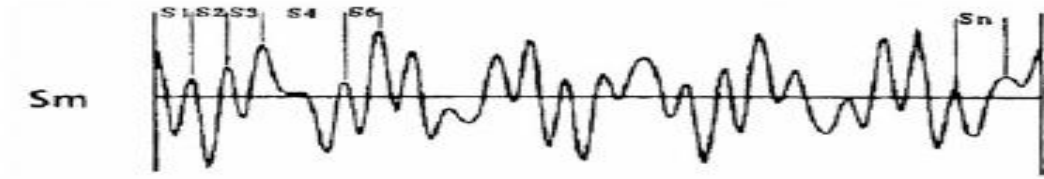
3. Numunedeki Çukur Yüksekliğinin Maksimum Sivrililiği R_y $R_{t\max}$: Herbir ölçme boyundaki çukur yüksekliklerinin en büyük sivrililiği olarak tanımlanır. R_y olarak en büyük R_t değeri alınır.



4. R_t Değerlerinin Ortalaması R_{tm} , $R_z(DIN)$: R_{tm} olarak bilinen bu parametre, kabul edilen uzunluktaki bütün çukur yüksekliklerinin sivrilik değerlerinin ortalamasıdır.

$$R_z(DIN) = \frac{(R_{t1} + R_{t2} + R_{t3} + \dots + R_{tn})}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} R_{ti}$$

5. Profilin Sivrilik Aralıklarının Ortalaması S_m : Bu parametre, kabul edilen uzunluğun üzerinde ölçülen, ana çizgideki profil sivriliklerinin arasındaki mesafelerin ortalaması olarak tanımlanır.



$$S_m = \frac{(S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n)}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} S_i$$

4. DENEYİN YAPILIŞI

Çeşitli parçalar mikrometre ve kumpas ile beş kez ölçülür. Standart sapma değerleri bulunur.

Taşlanmış ve frezelenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü değerleri belirlenir. Bu değerlerin tolerans sınırları içinde olup olmadığına bakılır.

5. Ölçüm Değerleri

Parça No	Ölçüm No				
	1	2	3	4	5
1 (Sürgülü Kumpas)	21.1	21.14	21.34	21.1	21.3
2 (Digital Kumpas)	30.12	30.18	30.22	30.25	30.14
3 (Mikrometre)	22.92	22.65	22.99	23.01	23
4 (Digital Mikrometre)	23.022	23.01	23.00	23.002	23.006

Sürgülü kumpasın hassasiyeti : 1/50

Mikrometrenin hassasiyeti : 1/1000

Yüzey Pürüzlülüğü;

Taşlanmış Yüzey : $R_a=0.2$

Frezelenmiş Yüzey : $R_a=2.4$

6. Hesaplama ve Sonuçlar

1 No'lu parça için:

Ortalama Değer (Aritmetik ortalama): $X_{m1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$

$$X_m = \frac{1}{5} (21.1 + 21.14 + 21.34 + 21.1 + 21.3) = X_m = 21.196mm$$

Numune	$\sigma_i = X_i - X_m$	$(X_i - X_m)^2$
1	-0.096	0.009216
2	-0.056	0.003136
3	0.144	0.020736
4	-0.096	0.009216
5	0.104	0.010816

Sapmaların mutlak ortalaması:

$$|\sigma_i'| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - X_m|$$

$$|\sigma_i'| = \frac{1}{5} (0.096 + 0.056 + 0.144 + 0.096 + 0.104) \Rightarrow |\sigma_i'| = 0.00992mm$$

Standart sapma:

$$\sigma = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma = \frac{1}{4} (0.009216 + 0.003136 + 0.020736 + 0.009216 + 0.010816)^{\frac{1}{2}} \Rightarrow \sigma = 0.115mm$$

Diğer parçalar için de aynı işlemler yapılarak değerler bulunur.

Yüzey Pürüzlülüğü;

Taşılama: $R_a=0.2\mu\text{m}$ $0.1 \leq 0.2 \leq 0.6$ olduğundan uygundur.

Frezeleme: $R_a=2.4\mu\text{m}$ $0.8 \leq 2.4 \leq 6.3$ olduğundan uygundur.

$R_t=37\mu\text{m}$

6. Sonuç

Ölçümlerde giderilebilecek hataların bertaraf edilmesiyle sapma değerleri minimuma inebilir.

Genellikle atölye ve laboratuvarlarda kullanılan ölçme ve kontrol takımlarının referans sıcaklığı 20°C, açık arazide kullanılan ölçme aletlerinde 15°C kabul edilmektedir. Bu sıcaklıklardan farklı bir sıcaklıkta ölçme yapılıyorsa, ölçme aletinin ve ölçülen parçanın ısı genleşme katsayıları alınarak ölçme sonuçlarının düzenlenmesi gerekir. Mümkünse dijital ölçü aletleri kullanılarak ölçümler daha hassas yapılabilir.

7. İstenenler

Kumpas ile ölçülen 3 numunenin standart sapmasını bulunuz.

Yüzey pürüzlülüğü ile ölçülen parçaların hangi yüzey işlemine tabi tutulmuş olabileceği ile ilgili yorum yapınız.

KAYNAKLAR

- S.ÇELİK ‘Ölçme ve Kontrol’, M.E.B. İstanbul. 1989
- İ.YÜKSEL. ‘Ölçme Tekniği Ders Notları’ 1988
- Surtronic 3+Operator’s Handbook. Rank Taylor Hobson Limited
- Helios ürün kataloğu
- O.F.GENCELİ. ‘Ölçme Tekniği’.
- M.BAĞCI-Y.ERİŞKİN. ‘Ölçme Bilgisi ve Kontrol’.

METALİK MALZEMELERİN ÇEKME DENEYİ

1. AMAÇ

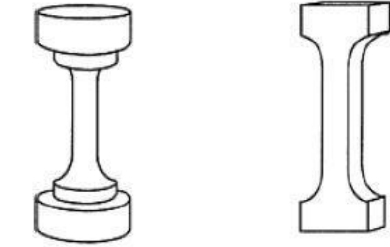
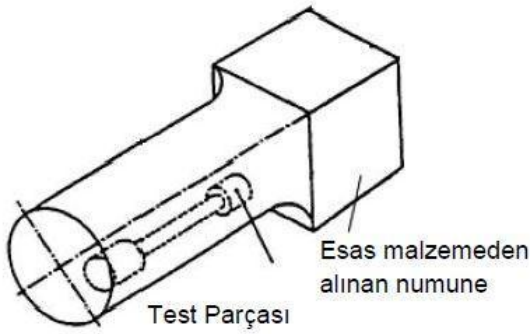
Çekme deneyi, malzemelerin statik yük altında elastik ve plastik davranışını belirlemek amacıyla uygulanır.

Çekme deneyi, asıl malzemeyi temsil etmesi için hazırlanan bir çekme çubuğu üzerinde gerçekleştirilir.

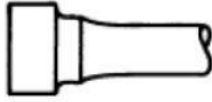
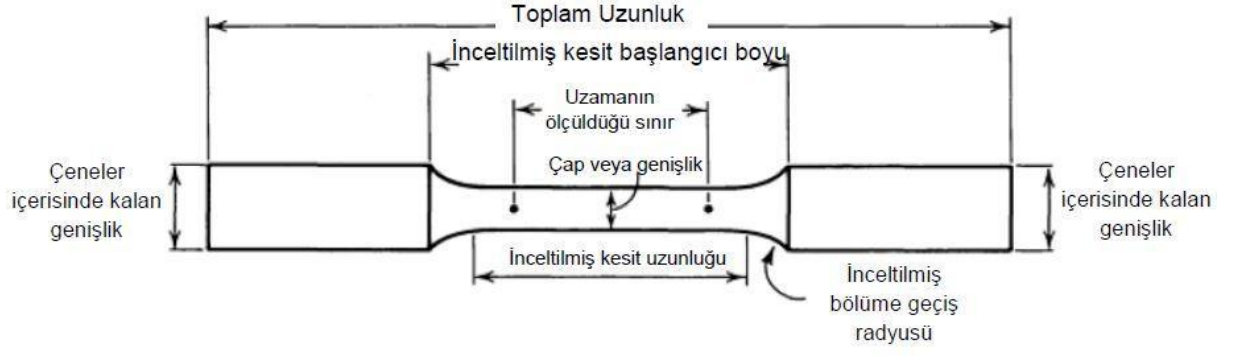
Çekme çubuğu şekli ve ölçüleri standartlara uygun olmalıdır.

Standartlara uygun olarak hazırlanmış deney numunesinin, tek eksenle, belirli bir hızla (darbesiz olarak) ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilir. Bu işlem sırasında uygulanan yük değerleri ve numunede oluşan uzama miktarları kayıt altına alınır. Kaydedilen değerlerden $F-\Delta l$ grafiği çizilir (veya çekme cihazından alınır).

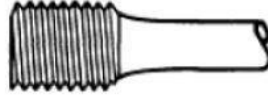
Örnek çekme deney çubuğu şekilleri:



Dairesel ve dikdörtgen kesitli deney numuneleri



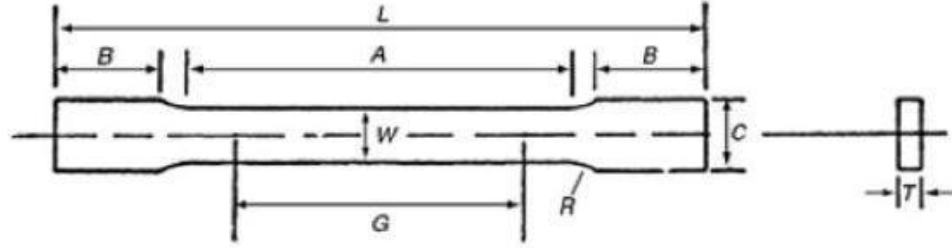
Faturalı bağlantı başı



Vidalı bağlantı başı



Delikli bağlantı başı



2. TANIMLAMALAR ve TEORİK BİLGİ

Akma Mukavemeti : (σ_A veya yeni gösterimle R_e)

$$\sigma_{Akma} = \frac{F_{Akma}}{A_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right]; \text{ Akma noktası belirgin değilse } \sigma_{Akma} = \frac{F_{\epsilon=0,2}}{A_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Elastisite Modülü : (E)

Malzemelerin rijitliğinin bir ölçüsüdür. E modülü ne kadar büyük olursa, elastik uzama oranı da o kadar küçük olur. Metalik malzemelerin elastisite modüllerine alaşım elementlerinin, ısı ve mekanik işlemlerin pek fazla etkisi yoktur. Fakat sıcaklığın etkisi büyüktür. Sıcaklık artarsa E değeri azalır.

E'nin birimi hesaplandığı gerilme birimindedir.

Çekme diyagramında ilk bölgedeki doğrunun eğimidir.

Hook Kanununa göre; $\sigma = E \cdot \varepsilon$ den hesaplanır. Eşitlikteki gerilme, elastik sınır içindeki herhangi bir gerilmedir. ε ise elastik sınır içindeki söz konusu gerilmeye ait uzama oranıdır. Kısacası, Akma gerilmesi üst sınırına kadar aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\sigma_i = E \cdot \varepsilon_i$$

Çekme Mukavemeti : (σ_{ζ} veya yeni gösterimle R_m)

Malzemelerin dayanabileceği en büyük mukavemet değeridir. Bu mukavemet değerine ulaşılnca çubukta kesit daralması (boyun verme) başlar.

$$\sigma_{\zeta} = \frac{F_{max}}{A_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Kopma Uzaması : (δ_k)

Malzemenin sünekliliğinin bir ölçüsüdür. Kalıcı şekil değiştirme yeteneğini verir. Bu değer ne kadar büyükse, malzemenin o kadar sünek olduğu anlaşılır.

$$\delta_{kopma} = \frac{\Delta l_{kopma}}{l_0} = \frac{l_{kopma} - l_0}{l_0}$$

Kesit Daralması : (r)

Kopma uzamasına benzer mekanik özellik bilgisi verir.

$$r = \frac{\Delta A_{kopma}}{A_0} = \frac{A_0 - A_{kopma}}{A_0}$$

Rezilyans : (U_R)

Malzemenin elastik olarak şekil değiştirdiğinde, absorbe ettiği enerjiyi, şekil değişimine neden olan kuvvetin kaldırılmasıyla geri vermesi özelliğine denir.

Rezilyans modülü ile ölçülür. Bu modül, çekme eğrisinin, elastik sınıra kadar olan kısmın alanına eşittir.

$$U_R = \frac{\sigma_A \cdot \varepsilon_A}{2} = \frac{(\sigma_A)^2}{2 \cdot E} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Buna göre, yüksek akma gerilmesi ve düşük elastisite modülüne sahip malzemler (örneğin yay çelikleri), yüksek rezilyans modülüne sahiptir.

Tokluk :

Malzemelerin, snekliliğinin ve mukavemetinin bir ölçüsü olan tokluk, darbe Őeklindeki yükleme ile belirlenebilecek bir mekanik davranış özelliğidir. Bu sebeple, çekme deneyi grafiğinden yararlanılarak, malzemelerin tokluk değerleri hakkında sadece karőılaőtırma yapılabilir.

Çekme grafiğinin tamamı altında kalan alan değerlendirilerek fikir yürütülebilir.

rnek olarak, yukarıdaki Őekilden yararlanılabilir.

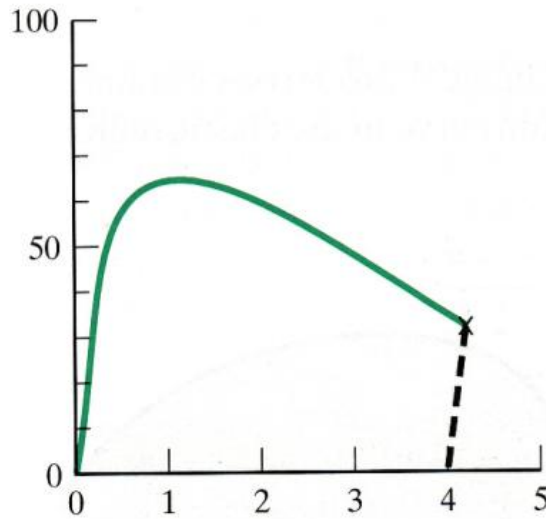
3. DENEY CİHAZI



Üniversitemiz laboratuvarında bulunan çekme cihazı yukarıdaki Şekilde görülmektedir. Bu gün için çok mükemmel cihazlar geliştirilmiştir. Hidrolik ve elektronik sistemle çalışan, eőtli yükleme kapasiteli olanları mevcuttur.

Ancak ister mekanik, isterse de elektronik donanımlı cihazlar olsun, deneyin tarifinde verilen aynı prensibe göre çalışırlar.

Cihazlarda otomatik kaydediciler, deney esnasında tatbik edilen yük ve uzama miktarını grafik olarak çizerler. Uzama miktarı apsiste, yük miktarı da ordinatta olacak şekilde ayarlanmıştır.



Deney esnasında cihaz tarafından çizilen yük-uzama ($F - \Delta l$) diyagramı

Deney sonucunda bulunan yük ve uzama miktarı, numunenin boyutlarına bağlı olarak, aynı malzemeden farklı sonuçların elde edilmesine sebep olur. Bu değerlerin, numune boyutlarından bağımsız hale getirmek için, gerilme-birim uzama ($\sigma - \% \epsilon$) değerlerine çevrilerek kullanılması, malzemelerin sınıflandırılması, kullanma yerlerinin seçimi v.b. hakkında tam fikir elde edilmesini sağlar.

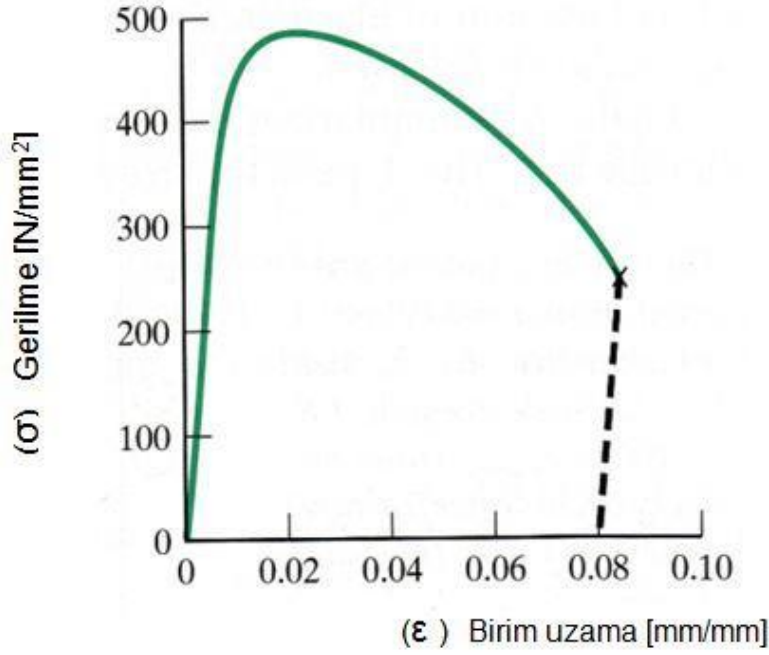
Hesaplamalarda,

$$\text{Gerilme} \quad \sigma = F/A_0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\% \text{ Uzama} \quad \% \epsilon = (\Delta l / l_0) \cdot 100$$

$$\Delta l = l - l_0 \quad (l : \text{çekmede ölçülen uzunluk, } l_0 : \text{deney başında ölçülen ilk boy})$$

olarak alınmaktadır.



σ-%ε Çekme Diyagramı (Mühendislik Çekme Diyagramı)

F- Δl diyagramındaki bilgilerden faydalanılarak yapılan hesaplamalar sonucu çizilen (σ-%ε) diyagramı yukarıdaki gibidir.

4. TEKNOLOJİK ÇEKME DİYAGRAMI (σ-%ε) :

Söz konusu diyagramda görüldüğü gibi, OA lineer bir doğrudur ve artan bir gerilme ile orantılı olarak % uzamanın arttığı görülür. A noktasına kadar olan bölümde, gerilme sıfıra indirilirse (uygulanan yük numune üzerinden kaldırılırsa) % uzama noktası da sıfıra iner (belirli bir miktar uzayan numune ilk boyuna geri döner). İşte bu bölgeye (OA bölgesine) malzemenin **Elastik Bölgesi** denir. Bu bölgede Hook kanunu geçerli olup ($\sigma = E \cdot \epsilon$), OA doğrusunun eğimi malzemenin **elastisite modülünü (E'yi)** verir.

$$E = \sigma / \epsilon \quad [\text{N/mm}^2]$$

A noktası burada **Elastik Sınır** veya orantı sınırı olarak tanımlanır.

$$\text{Elastik sınır} = F_A / A_0$$

A noktasından itibaren, artan gerilme ile orantılı olmayan bir şekil değiştirme meydana gelir. Daha az artan bir gerilmeye karşılık, daha büyük değerde şekil değiştirme olduğu görülür.

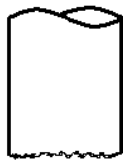
B noktasına gelindiğinde, l_0 boyu içerisinde bir bölgede, numune kesitinde gözle farkedilebilecek mertebede bir incelme meydana gelir. Buna **boyun verme (kesit daralması)** denir. Kesitin daralmaya başladığı andaki en büyük gerilme, **çekme gerilmesidir**.

B noktasında başlayan kesit daralması, BC arasında daha da artarak devam eder ve numune C noktasında kopar. Kopma anındaki gerilme de **kopma gerilmesidir**.

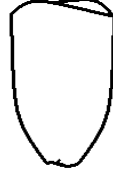
$$\text{Çekme dayanımı} = F_{\max.}/A_0 \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\text{Kopma dayanımı} = F_{\text{kopma}}/A_0 \quad [\text{N/mm}^2]$$

Metalik malzemelerin çekme deneyi sonucundaki kopma şekilleri şematik olarak aşağıdaki gibidir;



•



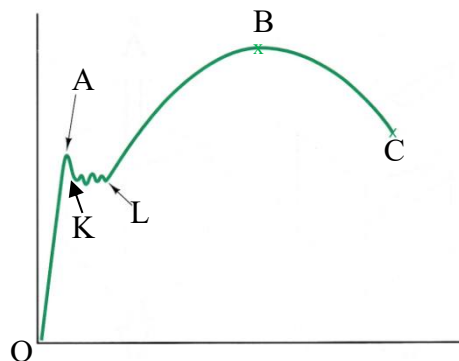
(b)



(c)

Genel olarak iki tür kopma şekli ile karşılaşılır, gevrek kopma (a) ve sünek kopma (b ve c).

Bazı malzemelerde (özellikle az ve orta karbonlu çeliklerde) orantı sınırı bitip plastik şekil değiştirmeye başlamadan önce değişik bir akma olayı ile karşılaşılır.



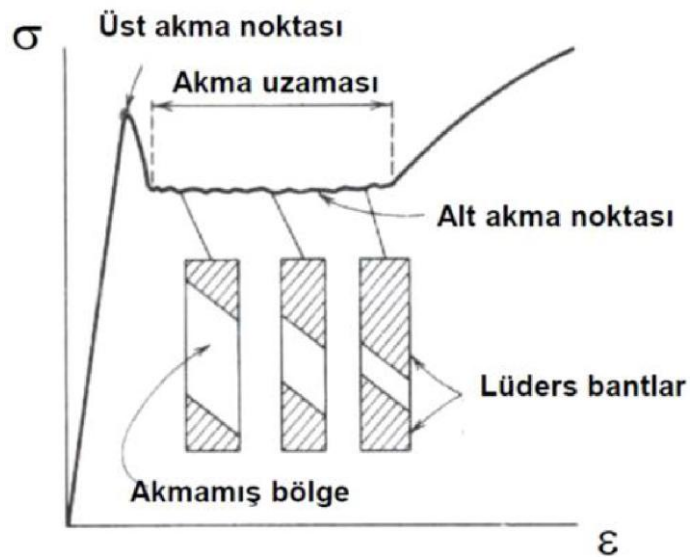
A noktasına gelindiğinde, gerilme sabit olmasına rağmen numunede uzama gözlenir ve olay KL arasında devam eder.

Bu tip akma olayı, malzemedeki dislokasyonların kilitlenmesi ve çoğalması ile açıklanmaktadır.

A noktasındaki gerilmeye **üst akma noktası**, K noktasındaki gerilmeye de **alt akma noktası** adı verilir.

Düşük karbonlu çeliklerde görülen belirgin akma (üst akma ve alt akma sınırı) görülmektedir. Arayer atomları (C, N) dislokasyonların altındaki çekme gerilmesi bölgesine difüze olurlar ve Cottrell **Atmosferi** diye anılan atom yığılmalarını oluştururlar. Cottrell atmosferi dislokasyonun hareketini engeller. Dolayısıyla dislokasyonun hareket edebilmesi için Cottrell atmosferinden kurtulması, bunun için de uygulanan gerilmenin yükseltilmesi gerekir. Gerilme, dislokasyonları atmosferlerinden kurtardığı anda gerilme değerinde ani bir düşme olur. Akmanın bu şekilde meydana geldiği en yüksek nominal gerilme değerine üst akma sınırı, akmanın devam ettiği ortalama nominal gerilmeye alt akma sınırı denir.

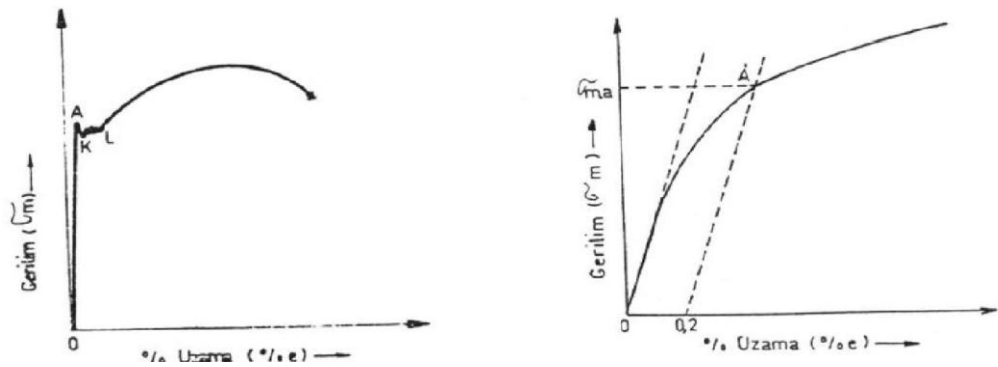
Üst akma sınırından sonra çekme çubuğunda şekil değişimi homojen olmaktan çıkar ve akma boyunca çubukta çekme doğrultusu ile yaklaşık 45° açı yapan bantlar oluşur. **Lüders-Hartmann bantları** olarak adlandırılan bantlar akma süresince tüm çekme çubuğuna yayılır.



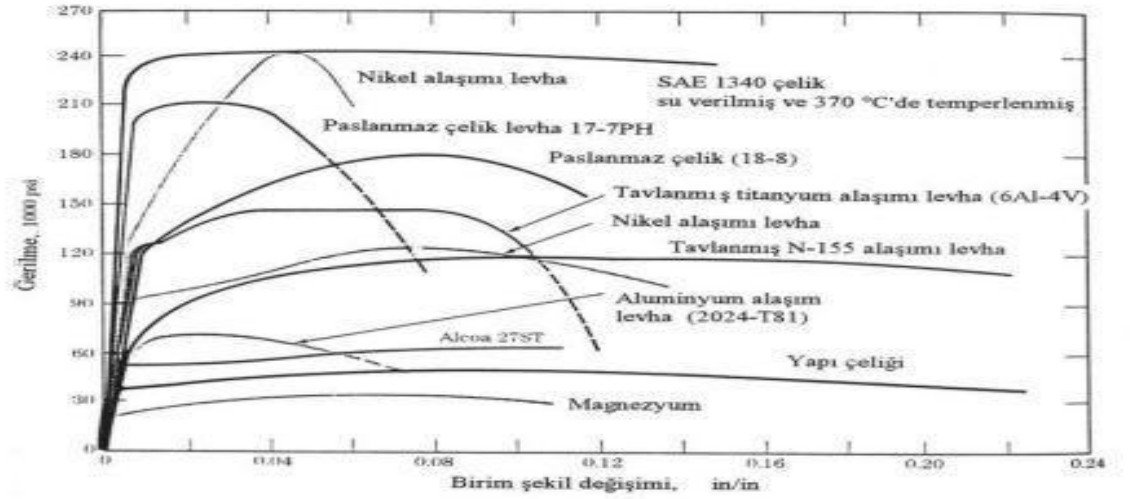
Çekme deneyinde parça uzarken kesit yüzeyi de azalır. Deney çubuğunun eksenine dik doğrultudaki birim şekil değiştirme (en veya kalınlık doğrultusu) ile eksenel (boyuna) doğrultudaki birim şekil değiştirme arasındaki oranın mutlak değerine **poisson oranı** denir.

$$\nu = \frac{-\varepsilon_{enine}}{\varepsilon_{boyuna}}$$

Akma olayı, bütün malzemelerde **belirgin akma** şeklinde değildir, **sürekli akma** özelliğine de sahip olabilirler. Mühendislik değerlendirmeleri açısından elastik sınır önemli olduğundan malzemelerin akma sınırlarının bilinmesi gereklidir. Bu durumda akma gerilmesi, diyagram üzerinde belirli bir kalıcı uzamaya ($\varepsilon = \% 0,2$) karşılık gelen gerilme olarak tanımlanır. (Aynı tarif, “çekme grafiği üzerindeki elastik doğruya, $\varepsilon = \% 0,2$ noktasından çizilen paralelin eğiriyi kestiği noktadaki gerilmedir” şeklinde de verilebilir.)



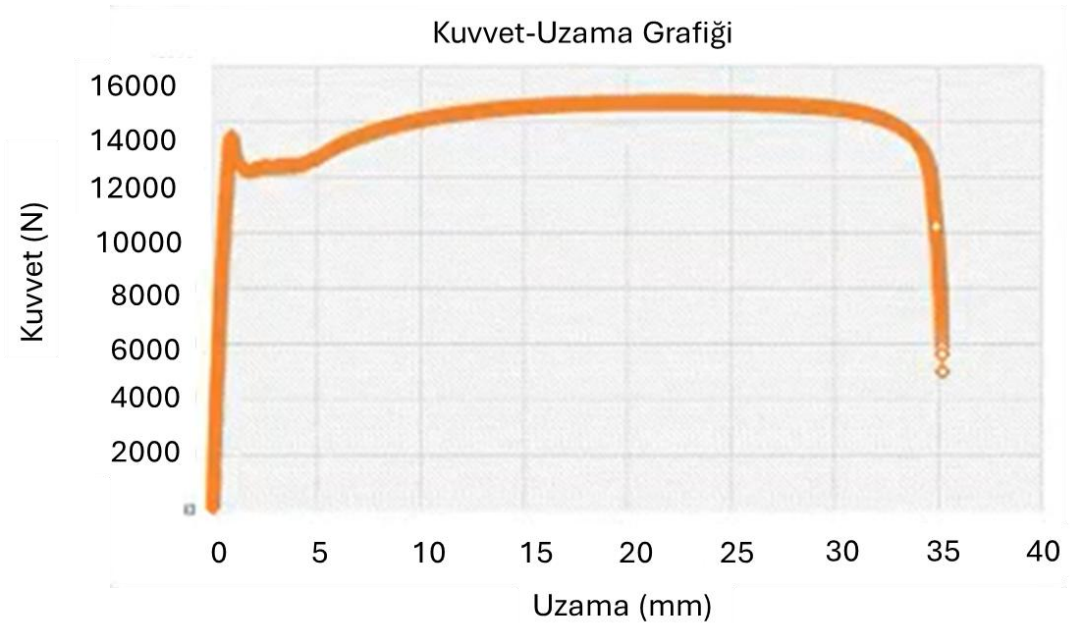
Şekilde belirgin akma göstermeyen bir malzemenin akma dayanımının belirlenmesini gösteren diyagram gösterilmiştir.



Bazı metal ve alaşımlarının mühendislik Gerilim-Uzama Diyagramı yukarıdaki şekilde verilmiştir.

İSTENENLER

1. Gerçek gerilme eğrisi ile mühendislik gerilme eğrisini aynı grafik üzerinde gösteriniz, farklılık neden meydana gelmektedir açıklayınız. Sanayide hangi kullanım tercih edilmektedir nedenini açıklayınız.
2. Aşağıdaki kuvvet uzama diyagramı için akma mukavemeti, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, kopma uzaması, elastisite modülü, rezilyans ve tokluk (yaklaşık olarak) değerlerini hesaplayınız (numune çapı D:10 mm alınacaktır).



5. KAYNAKLAR

- 1) Uludağ Üniversitesi Malzeme Bilimi Ders Notları.
- 2) İstanbul Üniversitesi Çekme Deneyi Föyü.
- 3) Celal Bayar Üniversitesi Çekme Deneyi Föyü.

İŞINIMLA ISI TRANSFERİ DENEYİ

1. AMAÇ

İşinimla ısı transferi olayının tanıtılması, Stefan-Boltzman kanunun gösterilmesi ve çeşitli metal plakaların yayma katsayılarının bulunması.

2. TEORİ ÖZETİ

Elektromanyetik dalgalar şeklinde veya fotonlar vasıtasıyla gerçekleşen ısı transferi şekline *ışınım*la (*radyasyon*la) ısı transferi denir. Işınımın fiziksel mekanizması henüz tam olarak bilinmemekte ve açıklanamamaktadır. Bazı ışınlam olayları dalga teorisi ile bazı ışınlam olayları ise kuantum teorisiyle açıklanabilmektedir. İster foton karakterinde, ister dalga karakterinde olsun ışınlam, boşlukta ışık hızı ($c_0 = 2,998.10^8$ m/s) ile ilerler. Elektromanyetik dalgaların veya fotonların ilerlemesi için maddesel bir ortama ihtiyaç yoktur.

Bazı ısı transferi problemlerinde ışınlam ile ısı transferi ihmal edilebilmektedir (örn. radyatörlerde ışınlam, toplam ısı transferinin %5-20'sini oluşturur). Fakat sıcak bir borudan çevreye olan ısı transferinde ışınlamla olan ısı transferi taşınım yoluyla olan ısı transferine eşit olabilmektedir. Bu durumda ışınlamı ihmal etmek büyük hatalara neden olmaktadır. Bu yüzden mühendisler hesaplarında, duruma göre ışınlamla olan ısı transferini de hesaba katmak, ihmal etmemek zorundadırlar.

Bir cismin uzaya yaydığı toplam ışınlam enerjisi (G), başka bir cisme rastladığında üç olay meydana gelir. Enerjinin bir kısmı (R) cismin yüzeyinden yansıtılarak uzaya dağılır, bir kısmı (τ) cismin içinden geçerek diğer yerlere akar, bir kısmı da (A) cismin içinde absorplanır (yutulur). Bu durumda,

$$G = R + \tau + A$$

yazılabilir. Bu denklemde bütün terimler G ile bölünürse,

$$\rho = \frac{R}{G} \quad : \text{ışınım yansıtma oranı, yansıtılan ışınlamın gelen ışınlama oranı}$$

$$\alpha = \frac{A}{G} \quad : \text{ışınım yutma oranı, yutulan ışınlamın gelen ışınlama oranı}$$

$$\tau = \frac{\tau}{G} \quad : \text{ışınım geçirme oranı, geçirilen ışınlamın gelen ışınlama oranı}$$

olmak üzere,

$$\alpha + \tau + \rho = 1$$

bağıntısı elde edilir. Burada ρ , malzemenin cinsine ve yüzeyin pürüzlülüğüne bağlıdır. α ve τ ise cismin fiziksel özelliklerine bağlıdır.

Eğer bir yüzey, üzerine gelen bütün ışınlamı yansıtıyorsa ($\rho=1$) bu yüzey *beyaz cisim* olarak adlandırılır. Eğer bir yüzey, üzerine gelen bütün ışınlamı yutuyorsa ($\alpha=1$) bu yüzey *siyah cisim* olarak adlandırılır. Gazlar ise (özellikle seyrek gazlar) ışınlamı hemen hemen yutmadıklarından ve yansıtmadıklarından ($\tau=1$) *saydam cisim* olarak adlandırılır.

2.1 Siyah Cismin Neşretme (Yayma) Gücü

İdeal ısıyıcı olarak tanımlanan siyah cisim, verilen bir sıcaklıkta mümkün olan maksimum ışınlamı neşreden ve üzerine gelen bütün ışınlamı yutan bir yüzeydir.

İdeal ısıyıcının (siyah cismin) ışınlam neşretme gücü,

$$E_s = \sigma \cdot T^4 \quad [W/m^2]$$

şeklinde yazılabilir. Burada σ , Stefan –Boltzman katsayısı olup değeri aşağıda verilmiştir.

$$\sigma = 5,67.10^{-8} \quad [W/m^2K^4]$$

Gerçek bir cismin neşrettiği ışınlam, aynı sıcaklıkta siyah cismin neşrettiği ışınlamdan daha azdır. Gerçek cismin ışınlam neşretme gücü,

$$E = \epsilon \cdot E_s = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [W/m^2]$$

bağıntısı ile verilir. Burada ϵ , gerçek yüzeyin neşretme gücünün aynı sıcaklıktaki siyah yüzeyin neşretme gücüne oranı şeklinde tarif edilir ve *yayma katsayısı* (emissivite veya yayma oranı) olarak adlandırılır.

Gerçek cisimler için ϵ , büyük oranda yüzeyin yapısına bağlı olup, radyasyon dalga boyu, ışının gelişi, yüzey sıcaklığına da bağlıdır. Fakat bu genellikle pratik hesaplama yapılacağı zaman ortalama değerler kabul edilir. Çeşitli malzemelerin yayma katsayıları çeşitli kitap ve kaynaklarda bulunabilir. Gerçek cisimler için yayma katsayısı 0 ile 1 arasında değişir ($0 < \epsilon < 1$).

2.2 Yüzeyler Arasında Işınım İle Isı Transferi

Yüzeyler arasındaki ışınlama ısı transferini, yüzeylerin birbirlerine olan geometrik konumları etkilemektedir.

Görüş Faktörü

Herhangi bir yüzeyin (A_1) yapmış olduğu ışınlamın diğer bir yüzeye (A_2) düşen kısmına *görüş faktörü* (F_{12}) denir. Burada, ilk alt indis ışınlamın geldiği ikinci alt indis ışınlamın düştüğü yüzeyi gösterir.

Görüş faktörü, sıcak yüzey (ışınım yapan yüzey) ile soğuk yüzey arasındaki pozisyonun geometrisi ile ilgili bir terimdir. Işınım dalgaları doğrusal bir hat boyunca yayıldıklarından, bir cismin diğerini görüp görmemesine veya görme açısına bağlı olarak ışınlam değişiklik gösterir. Görüş faktörünün hesaplanabilmesi için birçok yöntem, tablolar ve diyagramlar vardır. Bunların bir kısmı kitaplarınızda verilmiştir. Görüş faktörü verilen tanımdan da anlaşılacağı gibi ışınlam yapan cisimlerin birbirlerine olan konumlarına (görüp görmemesine veya ne oranda gördüğüne) göre 0 ile 1 arasında değişir.

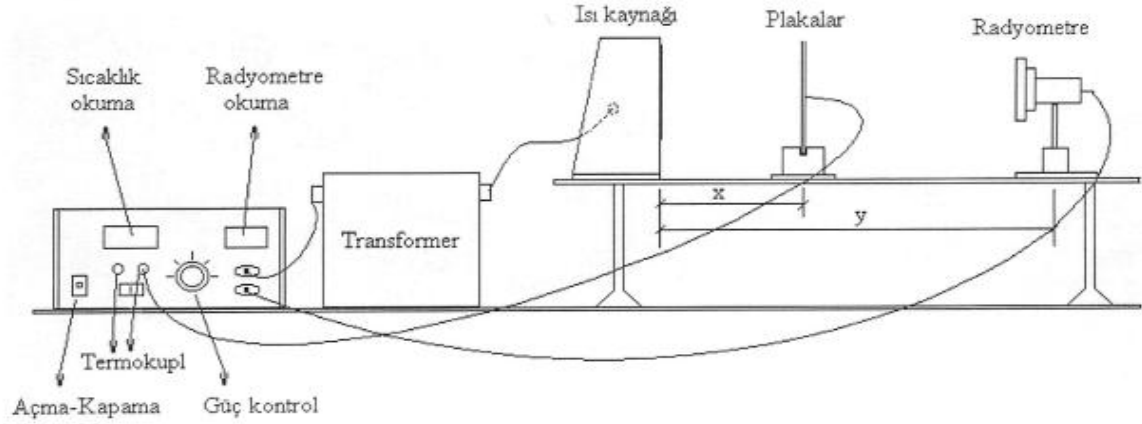
Bir yüzeyin neşretme gücü

$$E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [W/m^2]$$

idi. Buna göre bir yüzeyden ışınlama olan net ısı transferi, yüzeyin yapmış olduğu ışınlam ile yüzeye çevreden olan ışınlamın farkıdır.

$$q = Q/A = \epsilon \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad [W/m^2]$$

3. DENEY TESİSATI



4. DENEYİN YAPILIŞI

Isıtıcı kaynağının gücü, güç kontrol ünitesi vasıtasıyla maksimum değere ayarlanır. Isıtıcı kaynağının önüne $x=50$ mm olacak şekilde mat siyah bir plaka yerleştirilir. Bu plaka üzerindeki mevcut termokupl ile kontrol paneli üzerinden sıcaklığın yükselişi gözlenir. Sıcaklık maksimum değere geldikten sonra güç kesilir ve $y=110$ mm uzaklığa yerleştirilen radyometre vasıtası ile siyah plaka üzerinden yayılan ısı (R), W/m^2 olarak okunur. Radyometreden okunan bu değer ile, radyometrenin görüş açısına (Θ) bağlı olarak bulunan 5,59 katsayısı çarpılarak radyasyonla transfer edilen gerçek ısı ($q_{gerç}$) bulunur. T_{cev} , ortam sıcaklığı da ölçülerek aşağıdaki tablo oluşturulur.

$$R = q \cdot \sin^2 \Theta$$

$$\Theta = 25^\circ \Rightarrow q_{\text{gerç}} = 5,59 \cdot R$$

Buraya kadar anlatılan işlemler siyah plaka için yapıldığı gibi, parlak plaka ve gümüş kaplama plakalar için de tekrarlanır ve plakaların yayma katsayıları bulunur. Sonuçlarda olumsuzluk varsa nedenleri yorumlanır.

Okunan Değerler			Hesaplamalar	
T_y [K]	$T_{\text{çev}}$ [K]	R [W/m ²]	$q_{\text{gerç}}$ [W/m ²]	ε

BURULMA DENEYİ VE KAYMA MODÜLÜ TAYİNİ

Amaç

Deneyde, uçları altıgen kesite sahip numunelere uygulanacak dönme momenti ile farklı malzemelere ait kayma modüllerinin tayini amaçlanmaktadır.

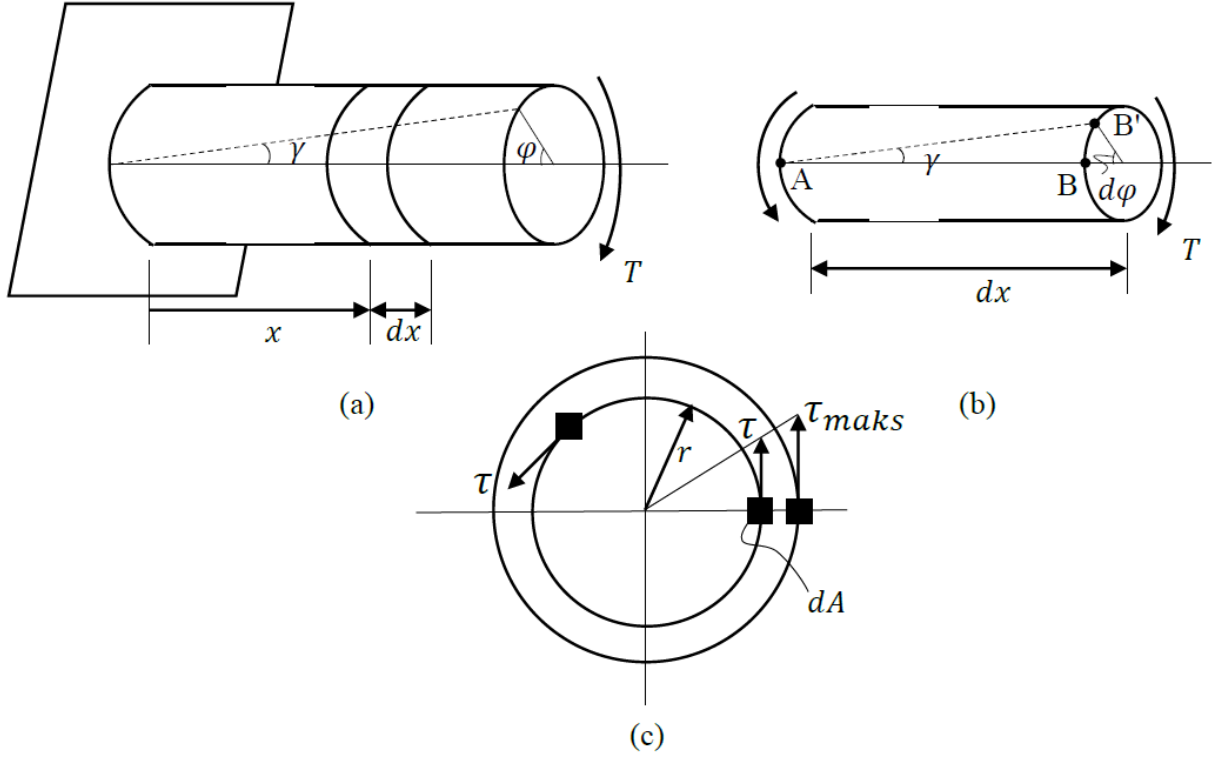
GİRİŞ

Mühendislikte yaygın olarak rastlanılan şekil değişimlerinden biri de burulmadır. Basit burulma halinde burulma momentine maruz kalan veya iletilmek istenen güç dolayısıyla burulma momenti belli ise uygun kesite sahip milin veya makine parçanın seçimi ile malzeme tespiti önem kazanır. Malzeme seçiminde ise malzemeye ait yapısal özellikler (malzemeye ait sabitler) karşılaştırılır. Elastisite Modülü, Poisson Oranı ve **Kayma Modülü** malzemeye ait sabitlerdir. Sadece deneysel olarak saptanabilen kayma modülü, kayma gerilmesi-kayma açısı grafiğinde lineer eğrinin eğimidir.

TEORİ

Basit burulma halinde aşağıdaki kabuller yapılır;

- Cismin kesiti uniform ve cisim homojendir.
- Şekil değişimleri elastik sınır içerisinde kalmaktadır.
- Yükleme sadece burulma şeklinde gerçekleşmektedir.
- Dairesel kesitler burulmadan sonra yine dairesel kalırlar.
- Kesit üzerindeki radyal çizgiler yine doğrusal kalırlar.



Şekil 1. Burulma etkisi

Şekil 1a’da görülen silindir burulma momenti etkisi altında dönmeye çalışmaktadır. Kesit üzerinde alınan dx uzunluğundaki bir eleman AB noktaları arasında γ kadar döner. Şekil 1b göz önüne alınarak:

$$BB' = \gamma \cdot AB = r d\phi \quad (1)$$

bağıntısında γ kayma açısıdır. Şekil 1b’de $|AB| = |dx|$ olarak alınabildiğinden;

$$\gamma = \frac{D}{2} \frac{d\phi}{dx} \quad (2)$$

bulunur. Burada $d\phi/dx = \theta$ ifadesine birin (relatif) dönme açısı denir. Kayma açısı ise

$$\gamma = \frac{1}{2} D \theta = r \theta \quad (3)$$

şeklinde elde edilir. Buradan cismin kenarına etki edip kaymasına sebep olan kayma gerilmesi değeri deneysel olarak gerçekliği bilinen Hooke kanunu ifadesinden

$$\tau = G \gamma \quad (4)$$

yararlanılarak aşağıdaki gibi bulunur. Burada G kayma modülüdür.

$$\tau = \frac{1}{2} D \theta G = r \theta G \quad (5)$$

Her ne kadar kayma gerilmesi ifadesi bulunmuş olsa da bu formül pratikte çok kullanışlı olmayacaktır. Çünkü birim dönme açısı θ ’nın ölçümü için özel cihazlar gereklidir. Bunun

yerine hem kolay ölçülebilen veya hesaplanabilen M_b burulma momenti cinsinden bu ifadeler elde edilesi pratiğe daha uygun olacaktır. Şekil 1c’de alınan dA elemanına etki eden kayma kuvveti

$$dF = \tau dA \quad (6)$$

bu kuvvetin milin eksenine göre momenti

$$dM_b = r dF = r(\tau dA) = r(r\theta G dA) = r^2 \theta G dA \quad (7)$$

Burada $\int_A r^2 \theta G dA$ ifadesi dairesel kesitin polar atalet momenti olup I_p ile gösterilmektedir. Böylece;

$$M_b = \theta G I_p \quad (8)$$

bulunur. Yukarıdaki denklemin her iki tarafı r ile çarpıldıktan sonra $\tau=r\theta G$ ifadesi kullanılarak gerekli düzenleme yapıldığında

$$\tau = \frac{M_b r}{I_p} \quad (9)$$

genel ifadesi elde edilir. Bu ifade dairesel kesitte merkeze herhangi bir r uzaklığındaki kayma gerilmesinin değerini verir. Eğer dairesel kesitin en dışında kayma gerilmesi aranıyorsa $r=D/2$ konarak hesaplanır.

$$\tau_{max} = \frac{M_b D}{2I_p} \quad (10)$$

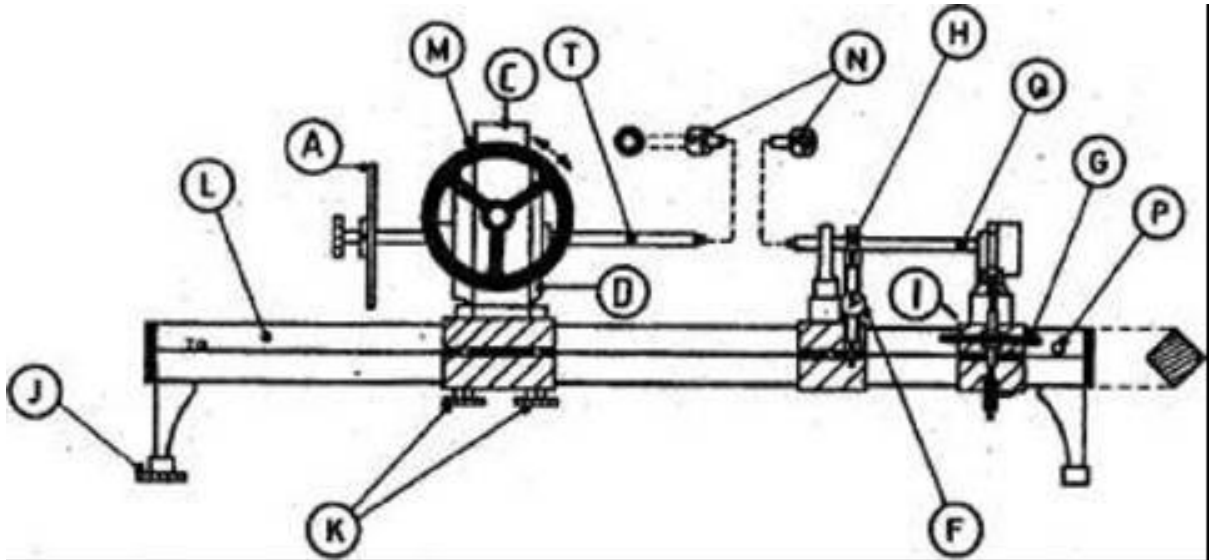
Bu hesaplanan değer kesit üzerindeki en büyük değerini verir. Dolu dairesel kesit için polar atalet momenti;

$$I_p = \frac{\pi D^4}{32} \quad (11)$$

ifadesi ile verilir. Burada D ’nin kesit çapı olduğuna dikkat edilmelidir.

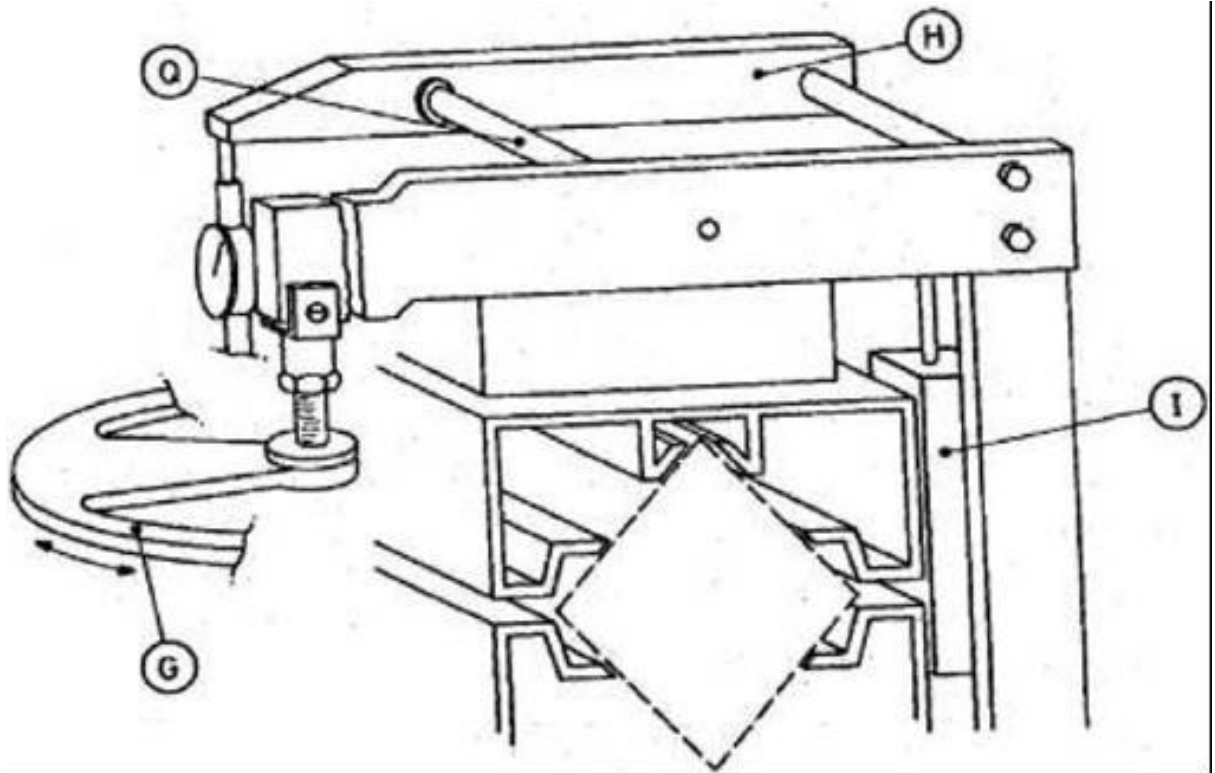
DENEY TESİSATI

Burulma testi cihazı 30 Nm’e kadar burulma momentim uçları altıgen kesite sahip bütün numunelere uygulanabilir. Bu deneyde standart olarak 6 mm çapında numunelere uygulanmaktadır. Ayrıca ilave olarak 70 cm’ye kadar tellere de uygulanabilir. Şekil 2’de deney tesisatı şematik olarak görülmektedir. Yük elle 60:1 çevrim oranına sahip dişli kutusu yardımı ile uygulanır. Moment burulma çubuğuna etki ettirilir (Şekil 3).



Şekil 2. A 360° dereceli skala, C Dönüş sayacı, D Dişli kutusu, F Komparatör, H Deplasman kolu, G Seviye ayar kolu, I lineer potansiyometre, J ayarlanabilir ayaklar, K dişli kutusu konum ayar cıvataları, L Ana gövde, M Giriş kolu (6° ölçüm yapabilen skala) N altıgen numune takmak için soketler, P torkmetreye çıkış soketi, Q burulma mili

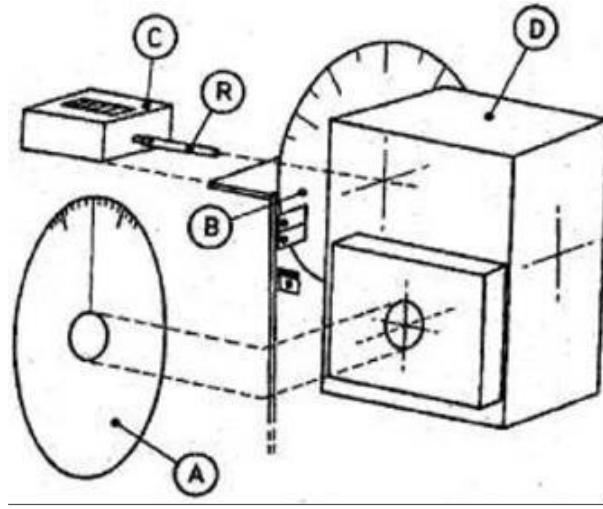
(Q)'nun deplasman kolu (H)'a göre izafi hareketi lineer potansiyometre'ye (I) bağlanacak dijital torkmetre yardımı ile ölçülür. Bu cihaz standart bir aparat yardımı ile kalibre edilmektedir.



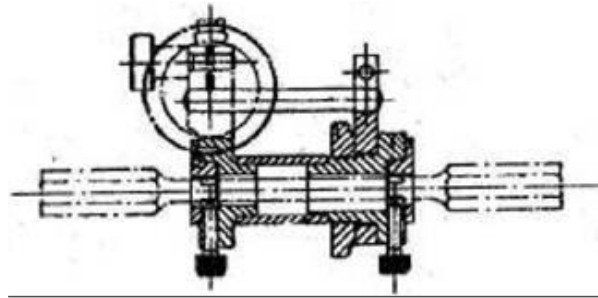
Şekil 3. Momentin burulma çubuğuna etkisi

Giriş olarak verilen dönme miktarı üç yolla ölçülebilir (Şekil 4'e bakınız), elastik sınır içinde okumaları sağlamak için 0.1° hassasiyetteki (B) skalası mevcut olup bu skala dişli

kutusunun giriş miline bağlanmıştır İkinci dereceli skala ise 1° hassasiyette olup dişli kutusunun çıkış miline bağlanmıştır ve plastik bölgedeki şekil değişimlerini bulmak için kullanılabilir. Başlangıcında sıfırlanabilir sayıcı (C) dişli kutusunun giriş miline monte edilmiş olup her bir sayısı 6° 'lık bir dönüşü kaydeder. Altı köşeli soket çiftleri standart altı köşeli numunelerin tutulmasını sağlar. (N) ile Şekil 2' de gösterilen bu soketler görüldüğü gibi giriş ve burulma millerinin uçlarına takılır. Burulma açısının doğru ölçümü, buradan da şekil değişimlerinin bulunması için ilave olarak Torsiyometre (burulma ölçer) cihazı kullanılabilir. Şekil 5'te bu cihaz görülmektedir.



Şekil 4. Dişli kutusu ünitesi ve burulma açısı ölçümünde faydalanılabilecek ölçekli göstergeler C sayacı, R sayıcı sıfırlama kolu, D dişli kutusu, A hareket giriş koluna bağlı bir turda 6° dönme gösteren skala, B giriş miline bağlı 0.1° hassasiyetteki skala.

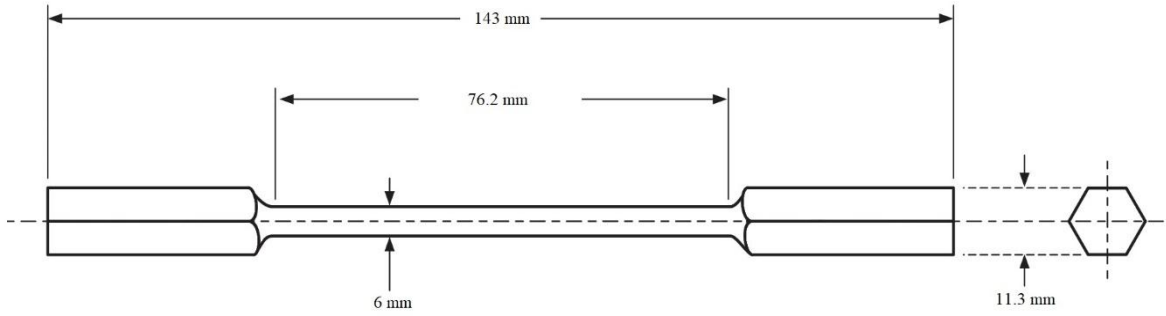


Şekil 5. Torsiyometre aparatı

DENEYİN YAPILIŞI

- 1) Test numunesinin ölçüm aralığını ve çapını ölçünüz.
- 2) Numunenin (Şekil 6) üzerine boyuna doğrultuda bir çizgi çizin. Bu çizgi burulma açısının etkisini göstermede faydalı olacaktır.
- 3) Yükleme dönüşünü yaptırmadan önce kolu saat ibreleri doğrultusunda giriş mili dönene kadar çeviriniz Örneğin B göstergesinde 0.5° okuyana kadar (Şekil 3'e bakınız.)
- 4) F göstergesini sıfıra getirene kadar seviye kolunu (G) çeviriniz.

- 5) Torkmetreden okunan değeri kaydediniz.
- 6) Birimleri dikkate atarak sıfırdan itibaren toplam burulma açısını kaydediniz.



Şekil 6. Numune ölçüleri

Testten elastik sınırlar içerisinde yeteri kadar değer almayı sağlamak adına verilen numuneler için Tablo 1’deki artımları kullanmak uygundur.

Tablo 1. Numune malzemesi ve önerilen artımlar

Numune	Kodu	Önerilen Artım
%0.15 Karbonlu Çelik	MT15	0.5°
%0.15 Karbonlu Çelik (900°C’de normalize edilmiş)	MT15N	0.2°
%0.4 Karbonlu Çelik	MT40	0.5°
%0.4 Karbonlu Çelik (860°C’ de normalize edilmiş)	MT40N	0.4°
Dökme Demir	MCI	0.5°
Pirinç B.S.249	MTX	0.5°
Alüminyum Alaşımı B.S. 1476 H.E.14 (Tavlanmış)	MTR	1.0°

İSTERLER

- 1) Deneyde elde ettiğiniz açı, moment ve deplasman değerlerini tablo haline getiriniz (Tablo 2).
- 2) Uygulanan burulma momenti M_b ile “burulma açısı arasında” elastik bölgedeki değişimi gösteren grafiği elde ediniz.
- 3) Bu diyagramın eğimini kayma modülünü bulmak için kullanınız. ($G = \frac{M_b L}{\phi I_p}$)

Tablo 2. Deney sonuçları

Deney	ϕ_1 [°]	ϕ_2 [Radyan]	ϕ -Burulma Açısı [Radyan]	y [mm]	M_b [Nm]
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

KAYNAKLAR

- 1) Yayla, P. “Cisimlerin Mukavemeti”, Kocaeli,1998
- 2) Torsion Testing Machine Manual, TQ International, England.