

Deney Adı: Beton Karışım Hesabı

Deneyin Yapıldığı Yer: Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı

Bu föy, TS 802/Mart 2016 standardı esas alınarak hazırlanmış olup bu standart, yerinde döküm ve ön yapımlı (prefabrik) yapılar ile binaların ve inşaat mühendisliği alanına giren yapıların ön yapımlı yapısal elemanlarında kullanılan betonların karışım hesap esaslarını kapsar.

1 Beton karışım tasarımı hesabı

İstenen kıvam, işlenebilme, kohezyon, dayanım, dayanıklılık, hacim sabitliği ve aranan diğer özelliklere sahip en ekonomik betonu elde edebilmek amacıyla gerekli çimento, agrega, su, hava ve gerektiğinde kimyasal ve mineral katkı maddelerinin miktarlarını belirlemek için yapılan işlemler.

2 Genel kural

Beton karışım hesabı yapılırken; betonun döküleceği elemanın boyutları, elemanın maruz kalacağı sülfat ve klorür gibi zararlı kimyasal etkiler, donma-çözülme, ıslanma-kuruma, aşırı sıcaklık, aşınma gibi fiziksel dış etkiler (TS EN 206-1’de tanımlanan ve betonun döküleceği yerde geçerli çevre etki sınıfı) ile elemanın sahip olması gereken geçirimsizlik, dayanım, dayanıklılık, yoğunluk, işlenebilme, hacim sabitliği, görünüm ve diğer özellikleri göz önünde bulundurulur.

3 Beton karışım tasarımında göz önünde bulundurulması gerekli bazı faktörler

Betonda aranan bazı özelliklerin, beton bileşenleri ile olan ilişkileri, karışım hesabında göz önünde bulundurulmak üzere aşağıda belirtilmiştir.

3.1 İşlenebilme özelliği: İşlenebilme, betonun ayrışmadan yerleştirilip sıkıştırılarak istenilen görünüme sahip olabilmesidir. Bu özellik; tane dağılımı, tane şekli, çimento miktarı, hava, katkı maddesi ve kıvamı uygun seçilmiş karışımlarda istenildiği gibi ortaya çıkar.

3.2 Kıvam: Kıvam, karışım suyu nedeniyle taze betonun kazandığı akıcılığın ölçüsüdür. Tane dağılımı iyi seçilmiş taze betona belirli bir kıvam kazandıracak su miktarı, bu dağılımın oranları değişmemesine rağmen, agreganın yapısına bağlı olarak değişebilir. Çok köşeli ve gevşek yapıli agregaların su ihtiyacı daha fazladır. En büyük tane büyüklüğü arttıkça su ihtiyacı azalır. Karışıma hava katılması ve bazı katkıları da su ihtiyacını azaltır.

3.3 Dayanım: Genellikle karışıma giren su miktarı azaldıkça dayanım artar. Ancak seçilen bir su/çimento oranı için her zaman aynı dayanımların elde edilmesi beklenemez, çünkü su/çimento oranının değişmemesine rağmen; en büyük tane büyüklüğü, tane dağılımı, agreganın yüzey yapısının, biçiminin, dayanımının veya çimentonun tipinin veya üretici fabrikanın veya hava miktarının değişmesi, katkı kullanılması veya kullanılmaması betonun dayanımını etkiler.

3.4 Dayanıklılık (Durabilite): Beton donma ve çözölmeye, ıslanma ve kurumaya, ısınma ve soğumaya, zararlı kimyasal etkilere dayanıklı olmalıdır. Betonun bu etkilere dayanıklılığını sağlamak için bazı hallerde özel çimento kullanmak yeterli olabilir. s/ç oranının küçük tutulması, zararlı etkili kimyasal maddelerin girmesini zorlaştıracak az geçirimli bir yapı oluşturacağı için yararlıdır. Donma ve çözölmeye maruz kalacak betonlarda hava sürükleyici katkıların kullanılması uygun sonuç sağlamaktadır.

3.5 Birim hacim kütle: İstinat duvarı, su altında döşenecek boru gibi betonun ağırlığının önemli olduğu yapılarda, kohezif ve ağır beton elde etmek gerekir. Bunun için gerektiğinde özel agrega da kullanılabilir.

3.6 Çimento hidratasyon ısısı: Hidratasyon ısısının zararlı etkileri olabileceği hallerde, uygun çimento tipi ve çimento miktarının olabildiğince küçük seçilmesine çalışılmalıdır. Çok gerekli

durumlarda hidratasyon ısısı çok düşük (Yüksek belitli çimentolar, düşük alüminatlı çimentolar, yüksek oranda cürufllu çimentolar vb.) veya katkılı (uçucu kül, cüruf ve tras vb.) çimentoların kullanılması düşünülmelidir. Çimento miktarının gereğinden fazla seçilmesinin rötre ve sünme üzerinde de zararlı etkisi olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

4 Özellikler

4.1 Agrega en büyük tane büyüklüğünün seçilmesi

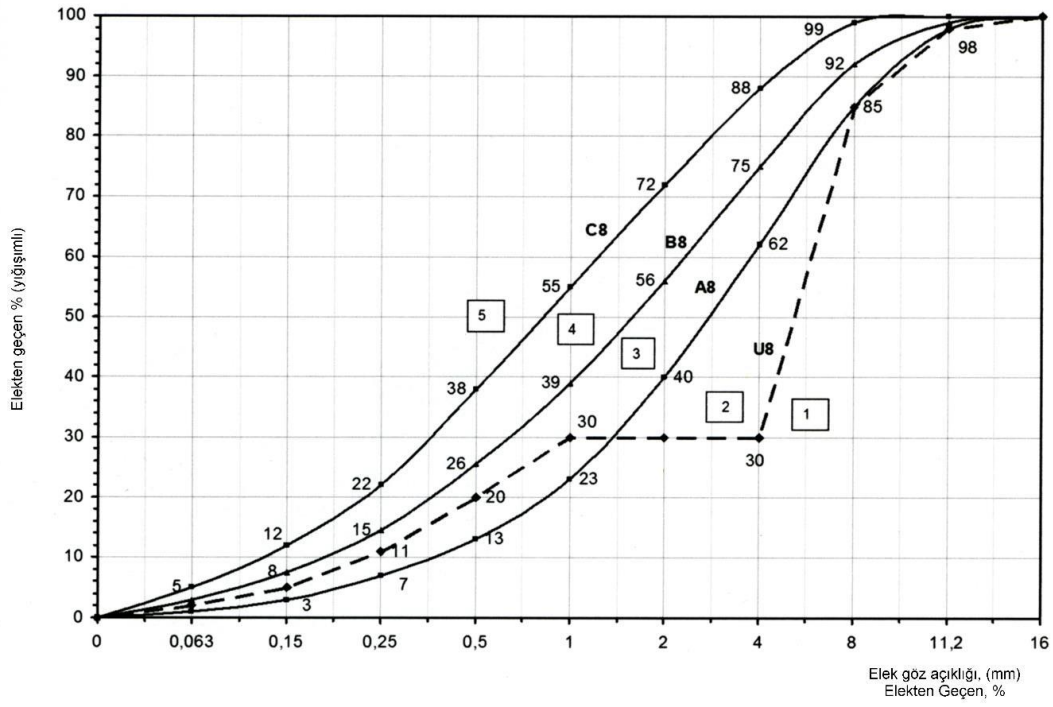
Beton imalatında kullanılacak agreganın en büyük tane büyüklüğü; betonun kullanılacağı yapı elemanının şekil, cins ve en dar kesitinin boyutu, beton örtü tabakası (pas payı) kalınlığı ile betonun dökümünde kullanılacak yöntemle bağlıdır. Agrega en büyük tane büyüklüğü, en dar kesite ait kalıp genişliğinin 1/5'ini, döşeme derinliğinin 1/3'ünü, donatılı betonda en küçük donatı aralığının 3/4'ünü aşmayacak tarzda seçilmelidir. Bunların dışında beton pompa ile iletilecek ve dökülecekse betonda kullanılacak agreganın en büyük tane büyüklüğü pompa borusu iç çapının 1/3'ünü aşmamalıdır. Bazı eleman boyutları için kullanılabilecek en büyük tane büyüklüğü Çizelge-1'de verilmiştir.

Çizelge 1 – Çeşitli yapı elemanları için agrega en büyük tane büyüklükleri

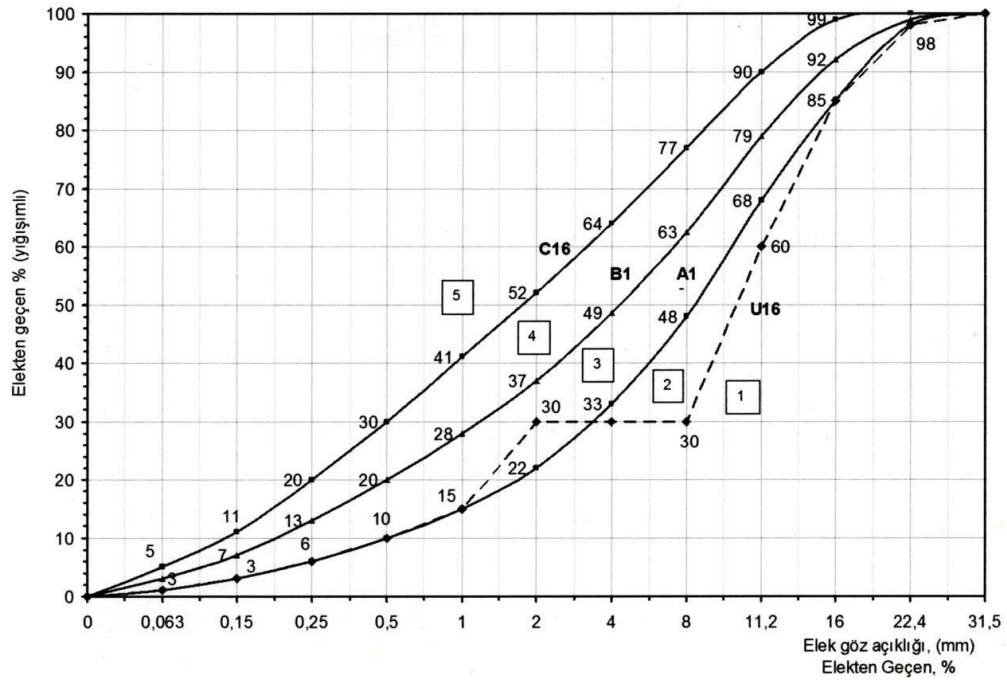
Yapı elemanı kesitinin en dar boyutu cm	Agrega en büyük tane büyüklüğü (en fazla) (mm)			
	Donatılı perde, kiriş ve kolonlar	Sık donatılı döşemeler	Seyrek donatılı ve donatısız döşemeler	Donatısız perdeler
6-14	16	16	32	16
15-29	32	32	63	32
30-74	63	63	63	63

4.2 Tane büyüklüğü dağılımı (granülometri) seçimi

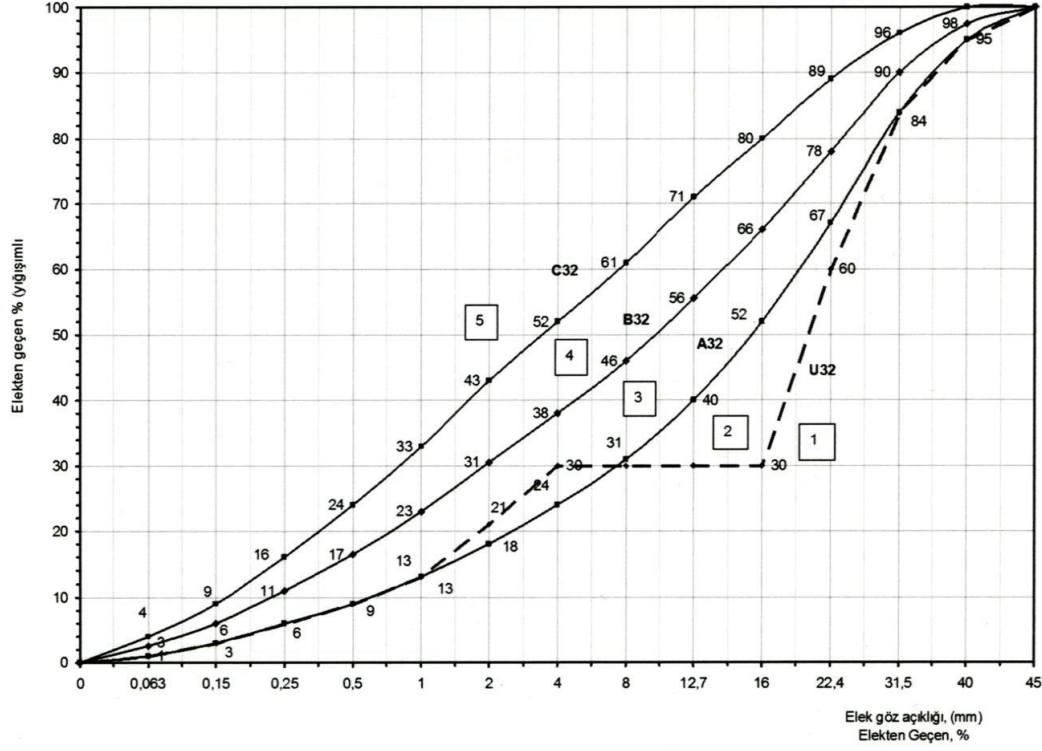
Beton yapımında kullanılacak agregalara ait tane büyüklüğü dağılımı agrega tane sınıfına (d/D) bağlı olarak belirlenmelidir. Örnek olması bakımından en büyük tane büyüklüğü 8,0 mm, 16,0 mm ve 31,5 mm olan agregalar için tane dağılım eğrileri sırasıyla Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir. Tane dağılımı, Şekil 1'de gösterilen 3 numaralı ve 4 numaralı bölgelerde bulunacak şekilde seçilmelidir. 3 numaralı bölgeye düşecek tane dağılımları, uygun bölge olduğu için, tercih edilmelidir. Bunun mümkün olmaması halinde 4 numaralı kullanılabilir bölgeye düşen tane dağılımları kullanılmalıdır. Zorunlu durumlarda 2 numaralı bölgeye düşen kesikli tane dağılımları da kullanılabilir. 5 numaralı bölgeye düşen tane dağılımları kullanılmamalıdır.



Şekil 1 - Agrega en büyük tane büyüklüğü 8,0 mm olan beton için belirlenen agregatane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar



Şekil 2 - Agrega en büyük tane büyüklüğü 16,0 mm olan beton için belirlenen agregatane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar



Şekil 3 - Agrega en büyük tane büyüklüğü 32,0 mm (31,5 mm) olan beton için verilen agregatane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar

4.3 Agreganın tane sınıflarına ayrılması

Beton imalatında kullanılacak olan agregatüvenan olarak değilse, beton yapımı sırasında agreganın karıştırıcıya, genellikle 3, 4 veya 5 tane sınıfına ayrılmış olarak koyulacağı karışım hesaplarında göz önünde bulundurulmalıdır. Bu hususta Çizelge 2'ten yararlanılmalıdır.

Çizelge 2 - Beton agregasının tane sınıflarına ayrılması

Beton sınıfı	Karışımındaki agrega en büyük tane büyüklüğü, (D _{en büyük}), (mm)										
	16			22,4				32 (31,5)			
	Tane sınıfı adedi										
	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4
C16/20 C20/25 C25/30	0/4	4/16		0/4	4/11,2	11,2/22,4		0/4	4/11,2	11,2/32	
	0/4	4/8	8/16	0/2	2/4	4/11,2	11,2/22,4	0/4	4/8	8/16	16/32
C30/37 C35/45 C40/50 C45/55 C50/60	0/4	4/8	8/16	0/4	4/11,2	11,2/22,4		0/4	4/11,2	11,2/32	
	0/2	2/4	4/16	0/2	2/4	4/11,2	11,2/22,4	0/2	2/4	4/11,2	11,2/32

Çizelge 2'te verilen agregatane büyüklüğü sınıfları, uygulanması gereken en az sınıflardır. Gerekli durumlarda tane sınıfı müşterinin izniyle artırılabilir veya azaltılabilir. Bununla birlikte Çizelge 2'te verilen agregatane büyüklüklerinden başka diğer elek göz açıklıkları da gerekli görüldüğünde agregatane büyüklüğü dağılımı ve sınıflandırması için kullanılabilir.

4.4 Su / çimento oranının (s/ç) seçilmesi

Su/çimento oranı, betonun (katkılı veya katkısız) dayanım sınıfı ve maruz kalacağı dış etkilerin şiddeti ile ilişkilidir. TS EN 206-1’de yer alan farklı iklim şartlarına ve çevre etkilerine maruz kalan betonlarla ilgili kısımda betonun içinde bulunacağı çevre etki sınıfı belirlenmeli ve bu sınıfa uygun en az çimento dozajı, en düşük karakteristik basınç dayanımı ve en büyük s/ç oranı gibi parametreler belirlenmelidir. Karışım tasarımında kullanılacak hedef basınç dayanımları, beton sınıflarına bağlı olarak Çizelge 3’te ve 28 günlük basınç dayanımlarına bağlı olarak s/ç oranları ise Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 3 - Beton sınıflarına göre karışım hesabında esas alınacak hedef basınç dayanımları (f_{cm}) ile deney numunelerinin sahip olması gereken ortalama basınç dayanımları

Beton sınıfı	Karakteristik basınç dayanımı, f_{ck} (MPa)		Hedef basınç dayanımı, f_{cm} (Ortalama silindir/eşdeğer küp basınç dayanımı) (MPa)		
	Karakteristik silindir (150x300) (mm) basınç dayanımı, f_{ck} (MPa)	Eşdeğer küp (150x150x150) (mm) basınç dayanımı f_{ck} (MPa)	Standart sapma biliniyorsa	Standart sapma bilinmiyorsa	
				(150x300) (mm) silindir	(150x150x150) (mm) küp
C14/16	14	16	$f_{cm} = f_{ck} + 1,48\sigma$	18	20
C16/20	16	20		20	24
C18/22	18	22		22	26
C20/25	20	25		26	31
C25/30	25	30		31	36
C30/37	30	37		36	43
C35/45	35	45		43	53
C40/50	40	50		48	58
C45/55	45	55		53	63
C50/60	50	60		58	68
C55/67	55	67		63	75
C60/75	60	75		68	83
C70/85	70	85		78	93
C80/95	80	95		88	103
C90/105	90	105		98	113
C100/115	100	115		108	123

Çizelge 4 - 28 Günlük beton basınç dayanımlarına göre yaklaşık s/ç oranları

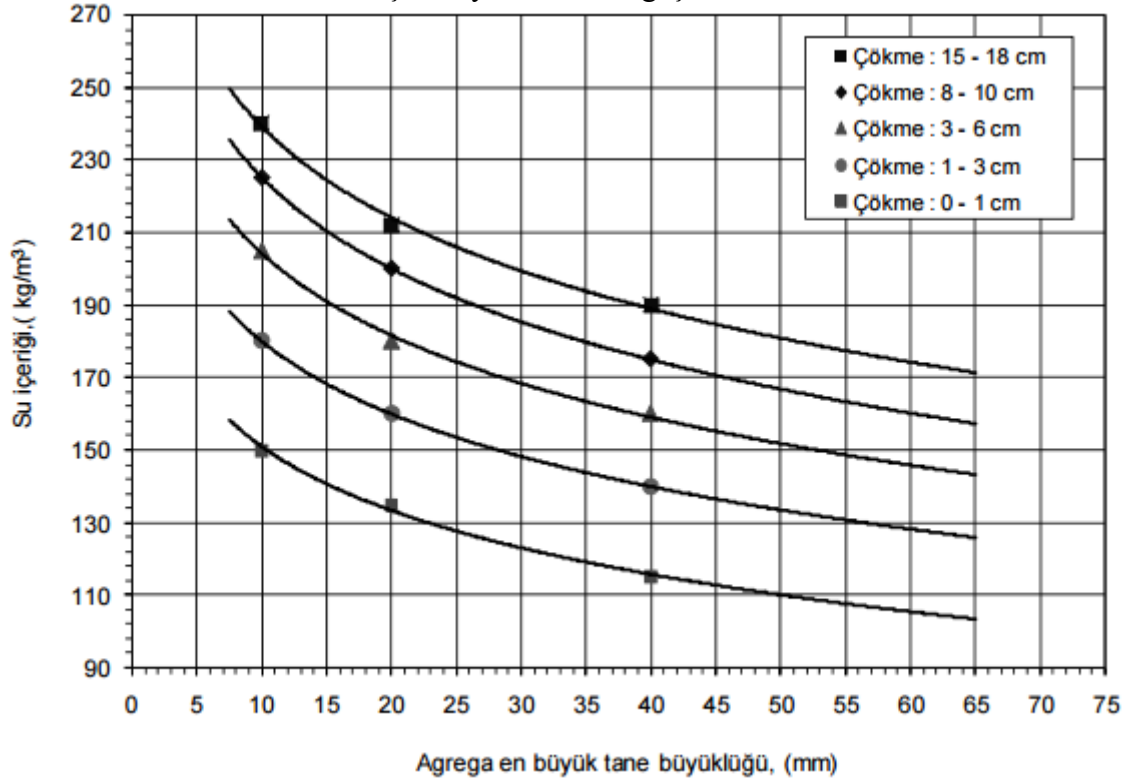
Basınç dayanımı (28 gün) (150x300) mm Silindir (MPa)	Su/çimento oranı	
	Hava sürüklenmemiş beton	Hava sürüklenmiş beton
45	0,38	0,30
40	0,42	0,34
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

4.6 Su miktarının (s) seçilmesi

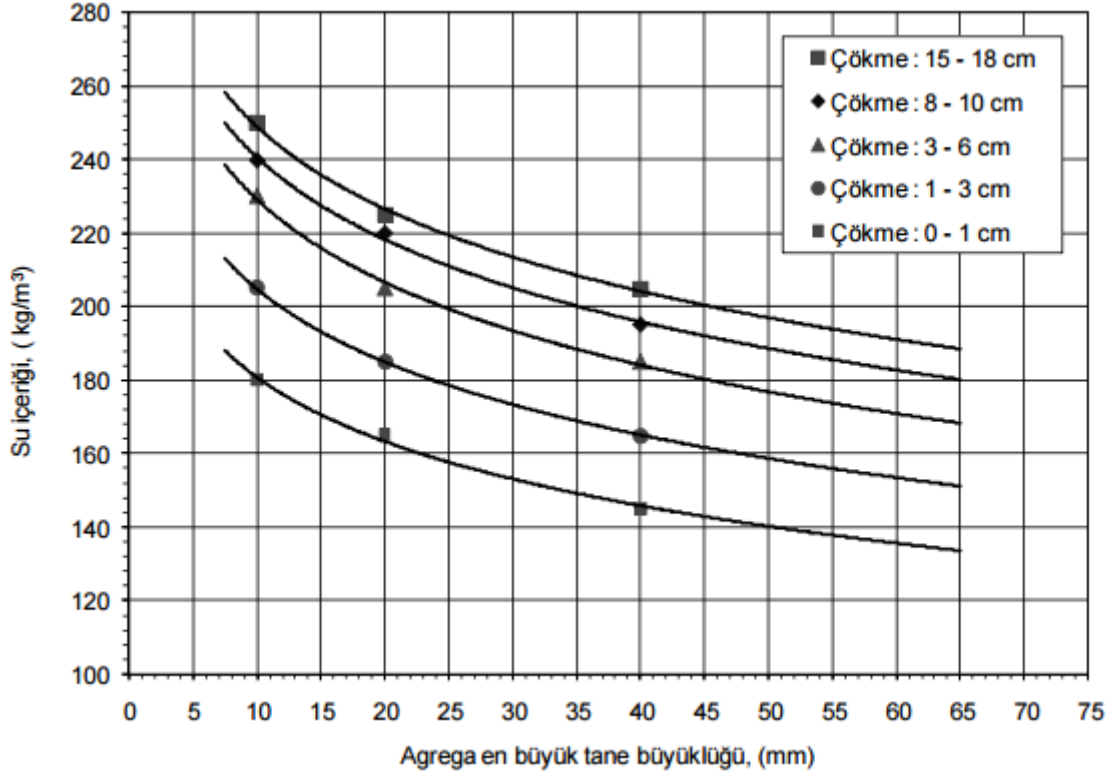
Beton yapımı için gerekli karma suyu miktarı (s), doymuş agreganın yüzeysel nem suyu ve ilave olarak verilecek suyun toplamıdır. Bu toplam su miktarı, çimento miktarı ile büyük ölçüde bağlantılı olmayıp betonun kıvamı, agreganın tane dağılımı, tane şekli, yüzey alanı, çok ince agreganın ve karışıma girecek havanın miktarı ile ilişkili olup taze ve sertleşmiş betonda aranan işlenebilirlik özelliği ve dayanıklılık özelliklerini sağlayacak en az miktar olarak seçilmelidir. Betonun karışım suyu miktarı, kıvama, agrega en büyük tane büyüklüğüne ve betonun kimyasal katkı ve hava sürüklenmiş olup olmadığına göre değişir. Betonda kimyasal katkı kullanılması ve kullanılan kimyasal katkının tipi, betonda karışım suyu miktarını önemli ölçüde etkiler.

Beton karışımına ilâve edilecek su miktarı, en az çimento miktarı ve en büyük su/çimento oranı bilindiği durumlarda hesaplanarak bulunmalıdır. Ancak, istenilen kıvamın sağlanması amacıyla gerektiğinde su ilâve edilmeli veya azaltılmalıdır. Gerekli durumlarda da kimyasal katkılardan faydalanılmalıdır.

Şekil 4 ve 5’de hava sürükleyici katkı haricinde herhangi bir kimyasal katkı kullanılmadan yapılan betonların kıvama, agrega en büyük tane büyüklüğüne ve agrega tipine bağlı olarak yaklaşık karışım suyu miktarları verilmektedir. Kimyasal katkı ile beton yapıldığında, kimyasal katkının cinsine bağlı olarak, grafiklerden bulunan karışım suyu miktarlarından belirli oranda su azaltma ile katkılı beton karışım suyu miktarına geçilebilir.



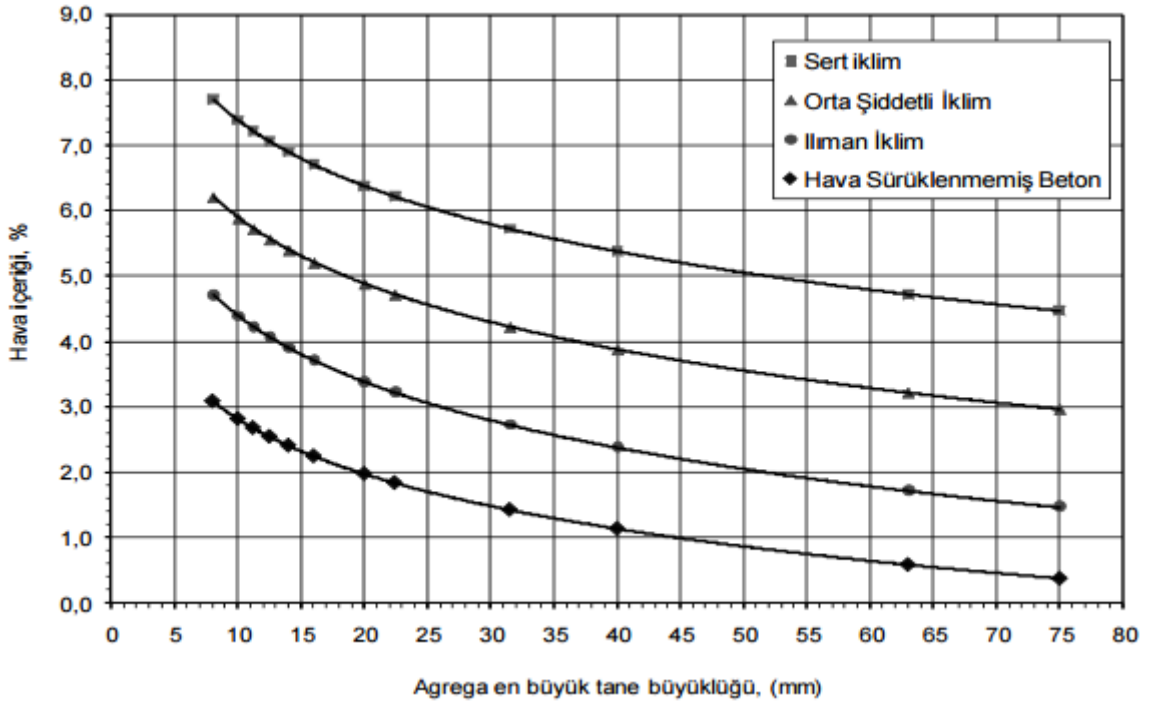
Şekil 4 - Doğal şekillenmiş agregalar ile farklı en büyük agrega tane büyüklüğü ve farklı beton çökme değerleri için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmemiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarı



Şekil 5 - Kırmataş agregalar ile farklı en büyük agrega tane büyüklüğü ve farklı çökme değerleri için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmemiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarı

4.7 Hava miktarının seçilmesi

Betonun toplam hava içeriği iklim şartlarına ve agrega en büyük tane büyüklüğüne uygun olarak seçilmelidir (Şekil 5).



Şekil 6 - Agrega en büyük tane büyüklüğüne ve iklim şartlarına bağlı olarak beton karışım hesaplarında kullanılacak uygun hava içerikleri

4.8 Kıvamın seçilmesi

Betonun su içeriğine ve kullanılan kimyasal katkılara bağlı olarak belirlenen kıvam sınıfları TS EN 206-1 standardına uygun olmalıdır. Kendiliğinden yerleşen beton ve çok yüksek akışkan betonlar hariç, beton kıvamı TS EN 12350-2'ye göre belirlenmeli ve randımanlı döküm ve homojen bir yapı oluşmasını sağlayacak en düşük değerde olmalıdır. Genellikle taze beton için çökme değerleri projede betonun döküleceği inşaat tekniğine ve yapı tipine göre önceden belirlenmektedir. Ancak, betonun yerleştirilme şartlarına göre kıvam gerektiğinde artırılabilir veya azaltılabilir. Kıvamın herhangi bir şekilde belirtilmediği işlerde, uygun çökme değerleri aşağıdaki Çizelge 5'den alınabilir.

Çizelge 5 – Çeşitli yapı elemanları için uygun çökme (slump) değerleri

Yapı elemanı	Çökme, mm	
	En az	En fazla
Betonarme temel duvarları ve ayaklar	30	80
Donatısız beton temeller, kesonlar ve alt yapı duvarları	30	80
Kiriş, kolon, betonarme perdeler, tünel yan ve kemer betonları	50	100
Döşeme betonları	30	80
Tünel taban kaplama betonları	20	50
Baraj kütle betonu	20	50

Önemli Not: Betonun pompa ile iletilmesi ve kimyasal katkılar kullanılması durumunda en fazla çökme değerlerinin, su/çimento oranı aynı veya daha küçük olması şartıyla, bir miktar daha artırılmasına izin verilmektedir.

5 Beton karışım hesabının yapılması

5.1 Hesaplama bağıntısı

1 m³ sıkıştırılmış betonda bulunacak karışım elemanlarının miktarı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır. Beton karışım oranlarının tayini hacim esasına göre yapılmalıdır.

$$\frac{\varphi}{\rho_{\varphi}} + \frac{p}{\rho_p} + \frac{k}{\rho_k} + w + \frac{W_a}{\rho_a} + 10 \times A = 1000 \text{ dm}^3$$

Burada;

- φ : Karışıma girecek çimentonun kütlesi (kg) ,
- p : Karışımında çimentoya ilâve olarak kullanılacak mineral katkı (puzolan) miktarı (kg) ,
- k : Karışımında kullanılacak kimyasal katkı miktarı (kg) ,
- ρ_{φ} : Çimentonun yoğunluğu (kg/dm³) ,
- ρ_p : Mineral katkı (puzolan) malzemenin yoğunluğu (kg/dm³) ,
- ρ_k : Kimyasal katkının yoğunluğu (kg/dm³) ,
- W_a : Karışıma girecek suyun hacmi (dm³) ,
- W_a : Karışıma girecek agreganın miktarı (kg) ,
- ρ_a : Agreganın ortalama özgül kütlesi (g/cm³) veya (kg/dm³) ,
- A : Betondaki toplam hava miktarı (%)

Betonda kimyasal katkı kullanıldığı durumlarda, katkının en az yarısının su olduğu kabulü dikkate alınmalıdır. Bu nedenle katkı miktarının yarısı kadar bir su miktarının toplam karışım suyundan çıkarılması gerekmektedir.

5.2 Değişkenlerin belirlenmesi

5.2.1 Çimento miktarı ve çimento yoğunluğunun bulunması

s/ç oranı, Madde 4.5'e ve su miktarı (s) Madde 4.6'ya uygun olarak bulunduktan sonra karışıma girecek çimento miktarı (ç),

$$\text{ç} = \frac{s}{(s/\text{ç})}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada:

ç : Karışıma girecek çimento kütlesi (kg) ,
s : Karışıma girecek su kütlesi (kg) ,
s/ç : Su/çimento oranı

Çimento yoğunluğu çimento deney raporundan alınmalıdır. Hesaba başlanırken bu rapor mevcut değil ise, bu değer Çizelge 6'dan yaklaşık olarak bulunabilir.

Çizelge 6 - Farklı çimento tipleri için yaklaşık yoğunluk değerleri

Çimento tipi	Özgül kütle
CEM I 42,5N ve CEM I 42,5R	3,10
CEM II/A 42,5R, CEM II/B 42,5R	3,00
CEM III/A, CEM III/B	2,95
CEM IV, CEM V	2,85

5.2.2 Su miktarının (s) bulunması

Karışıma girecek su miktarı, öngörülen kıvam değeri ve tane büyüklüğü dağılımı göz önünde bulundurularak Madde 4.6'ya uygun olarak belirlenir. Bunun haricinde tecrübe ile de belirlenebilir.

5.2.3 Hava miktarının (A) bulunması

Karışıma girecek hava miktarı, öngörülen agrega en büyük tane büyüklüğüne, tane büyüklüğü dağılımına ve iklim şartlarına göre Madde 4.7'e uygun olarak belirlenir.

5.2.4 Toplam agrega hacminin (V_a) ve miktarının (W_a) bulunması

Karışım da çimento, su, kimyasal ve mineral katkıları ve havadan arta kalan hacim agrega ile doldurulacaktır. V_a agrega hacmi olmak üzere Madde 5.1 'de verilen bağıntı,

$$V_a = \frac{W_a}{\rho_a} = 1000 - \left(\frac{\text{ç}}{\rho_{\text{ç}}} + \frac{p}{\rho_p} + \frac{k}{\rho_k} + s + A \right) \quad (\text{dm}^3)$$

şeklinde ifade edilirse, bağıntının sağ tarafındaki ç/ρ_ç , p/ρ_p , k/ρ_k , s ve A değerleri sıra ile Madde 5.2.1, Madde 5.2.2 ve Madde 2.2.3'e uygun olarak bulunmuş olduğundan sol taraftaki V_a değeri (agreganın hacmi) hesapla bulunur.

1 m³ betonda kullanılacak toplam agreganın kütlece hesaplanabilmesi için her tane sınıfı agregaya ait özgül kütle ρ_a 'nın tayin edilmiş olması gereklidir. Agregada en büyük tane büyüklüğüne göre belirlenen tane sınıfları, uygun tane dağılımından bulunan agrega sınıflarına ait karışım oranları ve özgül kütleler (bağıl yoğunluk) tespit edildiğinde, agregalara ait ortalama özgül kütle aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$\bar{\rho}_a = \frac{1}{\frac{x_1}{\rho_{a1}} + \frac{x_2}{\rho_{a2}} + \frac{x_3}{\rho_{a3}} + \dots + \frac{x_n}{\rho_{an}}}$$

Burada ρ_a değeri, agregalara ait ağırlıklı ortalama bağıl yoğunluk değerini verir ve bu değer bulunduğundan sonra toplam agreganın kütlesi hesap edilmelidir.

$$M_a = V_a \times \bar{\rho}_a$$

Burada, M_a 1 m³ beton karışımına giren agregaya ait toplam kütleyi verir ve her agreganın sınıfına ait kütleler, (M_1, M_2, M_3 ve M_n), agreganın karışım oranları (x_1, x_2, x_3 ve x_n) ile çarpılarak belirlenmiş olacaktır.

5.2.5 Agregalarda rutubet düzeltmesinin hesaplanması

Buraya kadar verilen ifadeler ile beton bileşenlerine ait kütleler belirlenmiş olmaktadır. Agregalara ait kullanılan referans özgül kütle değerleri yaygın olarak doymuş kuru yüzey (DKY) olarak belirlendiğinden, bulunan agreganın miktarları da DKY değerleri olmaktadır. Agregaların beton karışımları yapılırken genellikle doymuş kuru yüzey (DKY) durumunda değildir ve rutubet durumlarının sürekli olarak belirli aralıklarla kontrol edilmesi ve belirlenmesi gereklidir. Agregalara ait rutubetler (R) ve su emme (S_e) değerleri bilindiği zaman, rutubet düzeltmesi aşağıda verildiği gibi yapılmalıdır.

$$S_e - R = \dots \text{‘den çıkan sonuç.}$$

Burada, S_e agreganın sınıfına ait su emme değerini ve R ise o andaki toplam rutubet durumunu gösterir. Bu değerlerin arasındaki fark aşağıdaki gibi değerlendirilir;

(+) ise malzeme “HAVA KURUSU”

(-) ise malzeme “ISLAK”

(0) ise malzeme Doymuş Yüzeyi Kuru “DKY” durumundadır. Buradan elde edilen sonuçlarla;

Karışım suyu düzeltme işlemi ve düzeltilmiş su miktarı

$$w_1 = w_0 + \sum_{i=1}^n M_{ai}(DKY) \times \left(\frac{S_e - R}{100} \right)_i$$

Her agreganın sınıfı için agreganın rutubet düzeltme işlemi ve düzeltilmiş agreganın miktarları

$$M_{ai} = M_{ai}(DKY) - M_{ai}(DKY) \times \left(\frac{S_e - R}{100} \right)_i$$

bağıntıları ile hesaplanır. Burada;

- w_1, w_0 : Karışıma giren düzeltme öncesi ve düzeltme sonrası su miktarları, kg/m³,
- M_{ai} : Su düzeltilmesi yapılmış agreganın sınıfına ait kütlesi kg/m³,
- $M_{ai}(DKY)$: Agregalara ait Doymuş Kuru Yüzey (DKY) kütle değerleri kg/m³,
- S_e : Agregaların su emme % si,
- R : Agregaların toplam rutubet % si

6. Deneylerde esas alınan veriler ve karışım hesapları

Çizelge 7.sınıfı için Beton Karışım Hesapları

BİLEŞEN ADI		Yoğunluk (kg/dm ³)	Kütle (kg)	Hacim(dm ³)
Çimento				
Su				
Hava				
Kim. Katkı				
Agrega				
TOPLAM				

Deney Adı: Beton Üretimi ve Taze Beton Deneyleri

Deneyin yapıldığı yer: Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı

İstenilen özelliklerdeki betonun üretilmesi için, (a) Standartlara uygun kaliteye sahip yeterli miktardaki malzemenin önceden depo edilmiş olmaları, (b) beton karışımına girecek malzemelerin hassas olarak ölçülerek kullanılmaları ve (c) karılma işleminin uygun tarzda ve yeterli süre içerisinde yapılması gerekmektedir.

1. Taze Betonun Özellikleri

Çimentonun, suyun, agreganın (ve gerektiğinde, katkı maddelerinin) birlikte karılması sonucunda elde edilen beton karışımı, şekil verilebilir, yumuşak bir karışımdır. Ancak, çimento ve suyun birleştiği anda başlayan hidrasyon devam ettikçe, çimento hamuru (ve beton) giderek daha katı bir durum almakta ve bir süre sonra şekil verilemez olmaktadır.

Taze beton, henüz tamamen katılaşmamış, şekil verilebilir durumdaki betondur. Betonun taşınıp kalıplardaki yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi gibi işlemler, beton şekil verilebilir durumdayken yapılabilmektedir. Sertleşmiş durumdaki betondan istenilen büyüklükteki dayanımın, dayanıklılığın ve hacim sabitliğinin elde edilebilmesi için, taze betonun aşağıda sıralanan özellikleri göstermesi gerekmektedir:

- (1) Beton üretimi için bir araya getirilen malzemeler, betonun içerisinde üniform bir dağılım gösterecek tarzda, "kolayca karılabilir" olmalıdır.
- (2) Taze beton, üniformitesi bozulmadan, "kolayca taşınabilir" olmalıdır.
- (3) Kalıplardaki yerine yerleştirilecek taze beton, üniformitesi bozulmadan, kalıp içerisindeki her noktaya ulaşabilecek tarzda, "kolayca yerleştirilebilir" olmalıdır,
- (4) Yerine yerleştirilen taze beton, üniformitesi bozulmadan, "kolayca sıkıştırılabilir" olmalıdır.
- (5) Yerine yerleştirilip sıkıştırılan taze betonun içerisinde bulunan su, hidrasyonun devam edebilmesi için, mümkün olabildiği kadar betonun içerisinde kalmalı, yüzeye çıkarak kaybolmamalıdır. (Suyun beton yüzeyine çıkma eğilimi, terleme olarak adlandırılmaktadır.)
- Taze beton, "mümkün olabildiği kadar az terleme göstermelidir".
- (6) Kalıbına yerleştirilen ve sıkıştırma işlemi yapılan taze betonun "yüzeyi kolayca düzeltilir" olmalıdır.
- (7) Taze betonun "priz süresi, betonun kullanılacağı ortama uygun uzunlukta olmalıdır". (Malzemelerin karılmasıyla şekil verilebilir bir durum kazanan taze betonun, karıldığı andan katılaşmaya başladığı an'a kadar geçen süre, priz süresi olarak adlandırılmaktadır.)

1. 1. İşlenebilirlik ve Kıvam

1. 1. 1. İşlenebilirlik

Taze betonun kolayca karılabilmesi, segregasyon yapmadan taşınabilmesi, yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin düzeltililebilmesi, betonun ne ölçüde işlenebilir olduğunu göstermektedir. O nedenle, bu özelliklerin tümü. "işlenebilirlik" adı altında tek bir özellik olarak ifade edilmektedir. İşlenebilirlik taze betonun katılaşma göstermeden önceki durumuyla ilgili bir özellik olduğundan, betonun karılma işleminden itibaren ne kadar süre içerisinde katılaşma göstereceği (yani, priz süresi), betonun kullanılacağı yapı tipi için oldukça önemli olmaktadır. Çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların yer alma hızı (hidrasyon hızı), priz süresinin kısalığını veya uzunluğunu

etkileyen önemli bir faktördür. İşlenebilirlik, taze betonun en önemli özeliğidir. Yeterli işlenebilirliğe sahip olmayan taze beton, sertleştiğinde, yeterli dayanımı ve dayanıklılığı gösteremez, işlenebilirlik özeliği, betonun yapısından kaynaklanan şu özellikler ile ilgilidir

- Taze beton kütleğinde akma başlatacak kuvvete karşı betonun göstereceği direnç (kayma dayanımı),
- Akma başladıktan sonraki hareketlilik (akıcılık),
- Betonun oluşturan malzemelerin birbirine ne ölçüde bağlandıkları, böylece, segregasyona karşı göstereceği direnç (kohezyon), ve
- Yerleştirilmeyi ve yüzeyinin düzeltilmesini etkileyen yapışkanlık.

1. 1. 2. Kıvam

"Kıvam", taze beton karışımının ıslaklık derecesi anlamına gelmektedir. Kıvam teriminin taze betondaki su miktarı olarak tanımlanması yanlıştır. Kıvam, betonun ne ölçüde ıslak veya kuru olduğunu tanımlamaktadır.

Kıvamı çok yüksek olan bir taze beton, düşük kıvamdaki bir betona göre daha rahat karılabilmekte, daha rahat pompalanabilmekte ve çoğu kez daha rahat yerleştirilebilmektedir. Ancak, beton kıvamının çok yüksek olması, betonun işlenebilirliğinin mutlaka yeterli olduğu anlamına gelmemektedir. Zira aşırı derecede sulu bir beton karışımının kalıplara yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemlerin betondaki çimento harcı ile iri agregalar kolayca segregasyon gösterebilmektedir, yani, bu tür betonlar yeterli işlenebilmeye sahip olamamaktadırlar.

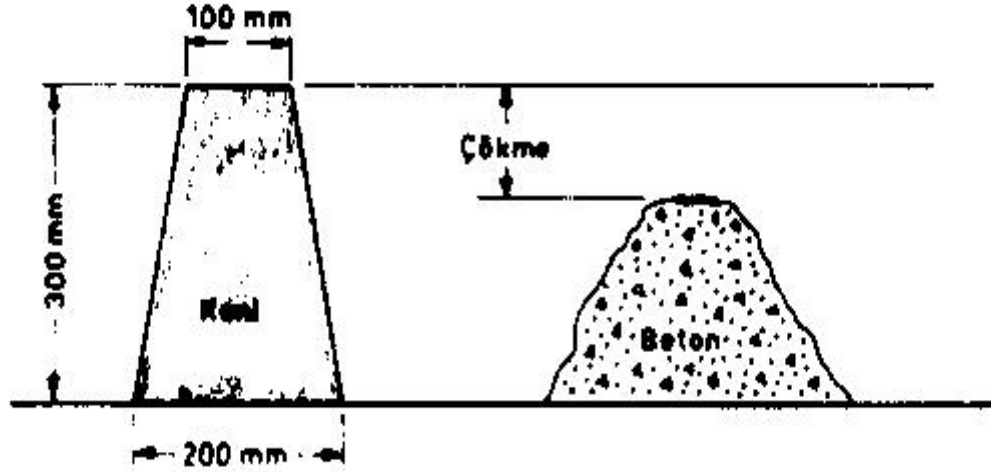
1. 2. İşlenebilmeyi ve Kıvamı Ölçme Yöntemleri

Taze betonun kıvamının ve işlenebilirliğinin araştırılabilmesi için kullanılan deney yöntemleri arasında gerek çeşitli ülke standartlarında yer alan ve gerekse beton teknolojisi ile ilgili olan kişiler tarafından kullanılan deney yöntemleri şunlardır:

- a. Çökme deneyi,
- b. Vebe deneyi,
- c. Sıkıştırma faktörü deneyi,
- d. Akıcılık deneyi (Sarsma Tablası Deneyi)

a-Çökme Deneyi Yöntemi: Çökme deneyi yöntemi ile ilgili standartların bazıları şunlardır: TS EN 12350, ISO 4109, ASTM C 143 ve BS1881. Türk standardına göre, çökme deneyi için metalden yapılmış, alt ve üst uçları açık olan kesik koni şeklindeki bir huni ile huninin içerisine yerleştirilecek betonu şişlemek için ucu yuvarlatılmış bir çelik çubuk kullanılmaktadır. Çökme hunisinin tabanının çapı 20 cm, üst ucunun çapı 10 cm ve yüksekliği 30 cm'dir. Betonun şişlemek için kullanılan çelik çubuğun boyu 60 cm, çapı 1.6 cm'dir. Huninin dış yüzeyinde karşılıklı yerleştirilmiş iki adet kulp ile alt ucuna yakın kısımda huniye dış yüzeyden bağlantılı karşılıklı iki adet melal çıkıntı bulunmaktadır Bu metal çıkıntılar, huninin içerisine beton doldurulurken huninin yere tamamen yapışmasını ve böylece alttan herhangi bir sızıntı olmamasını sağlamak üzere, ayakla basmak için konulmuştur. Deney başlamadan önce huninin içi nemli bir bezle silinmekte ve huni, düz ve su emmez bir yüzey üzerine yerleştirilmektedir. Hazırlanan taze beton, mala yardımı ile huninin içerisini dolduracak beton hacminin yaklaşık üçte bir bölümleri halinde, yani üç tabaka halinde, yerleştirilmektedir Her tabaka, şişleme çubuğu ile ayrı ayrı 25'er kez

şışlenmektedir. En üst tabakanın şışlenmesi işlemleri bittikten sonra kalıbın üstü mala veya şışleme çubuğu ile tesviye edilmektedir. Bütün bu işlemlerden hemen sonra, huni, yandaki saplarından tutularak, yavaşça, düşey olarak yukarı çekilmektedir. Kalıbından kurtulan beton, sululuk derecesine bağlı olarak, az veya çok miktarda bir çökme göstermektedir. Boş huni hemen çökme yapan beton yığının yanına konularak ve şışleme çubuğu huninin üzerine yatay olarak yerleştirilerek, çubuğun alt seviyesi ile çökme yapmış olan betonun üst yüzünün ortalama yüksekliği arasındaki mesafe, en yakın 0.5 cm ye kadar, cetvelle ölçülmektedir. Ölçülen değer, betonun çökme değeri olarak ifade edilmektedir. Şekil 1.1'de çökme hunisi ve çökme deneyi yöntemi ile betonun kıvamının ölçülmesi gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Çökme hunisi

Ölçülen çökme değerlerine bağlı olarak taze betonun hangi çökme sınıfına gireceği gösterilmektedir (TSE EN 206-1).

Çizelge 1.1. Çökme sınıfları

Sınıf	Çökme, mm
S 1	10 - 40
S 2	50 - 90
S 3	100 - 150
S 4	160 - 210
S 5 ¹⁾	≥ 220

1. 3. Segregasyon (Ayrışma)

Beton karışımı içerisinde yer alan malzemelerin homojen bir tarzda dağılmış olmaları ve betonun yeterli kohezyona sahip olması istenir. Taze betonun içersinde yer alan iri agrega ile çimento harcının herhangi bir nedenle ayrışma göstermesi "Segregasyon" olarak adlandırılmaktadır. Taze betonun segregasyon yapması, beton yapısının heterojen olmasına yol açar; aynı beton karışımının bazı bölgelerinde daha iri agregalar ve çimento hamuru birikmiş olur, bazı bölgelerde ise ince agrega ve çimento hamurundan oluşan çimento harcı yer almış olur. Bu durum, aynı beton karışımının değişik bölgelerindeki dayanım

dayanıklılık gibi önemli özelliklerin farklı olmasına neden olur. Betonun segregasyonuna yol açan nedenler şu şekilde sıralanabilir.

1. Malzeme oranları ve özellikleri,
2. Beton üretiminde kullanılan malzemelerin karılma işleminin yeterince yapılmamış olması,
3. Taze betonun taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işleminin uygun tarzda ve uygun süre ile yapılmaması.

1. 4. Terleme

Taze betonun yerine yerleştirilmesinden hemen sonra, katı parçacıkların yerçekimi etkisi ile dibe doğru ve suyun yukarı doğru hareket etme eğilimi bulunmaktadır. Taze betonun üst yüzeyine kadar erişebilen bir miktar su bazen çok sık bir su birikintisi oluşturarak buharlaşmaktadır. Bazen de doğrudan doğruya buharlaşarak kaybolmaktadır. Beton üst yüzeyine erişemeyen bir miktar suda, yüzeye yakın bir bölgede toplanmış olmakta ve bu bölgenin su/çimento oranı yüksek ve dolayısı ile zayıf bir betondan oluşmuş olmasına yol açmaktadır.

Taze betonun içerisindeki suyun beton yüzeyine çıkma eğilimine terleme denilmektedir. Bu olay kanama ve su alma veya kusma olarak da anılmaktadır. Terlemeyi azaltacak faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Kullanılan çimentonun inceliğinin yüksek olması
2. Çimento kompozisyonu,
3. İnce öğütülmüş mineral katkıları,
4. Karma suyu miktarının azaltılması,
5. Beton içerisine sürüklenmiş olan hava miktarı,
6. Betonun tabakalar halinde yerleştirilmesi ve tabaka derinliğinin mümkün olduğunca az olması.

1. 5. Birim Ağırlık

Taze betonun birim ağırlığının ölçülmesi ile ilgili Türk ve ASTM standartları TS 2941 ve ASTM C 138 dir. Taze betonun birim ağırlığını bulabilmek için 7.5 cm veya daha yüksek çökme değerine sahip olan taze beton hacmi bilinen bir kap içerisine yaklaşık üç eşit kademede doldurulmaktadır. Her kademedeki beton, 1.6 cm çaplı bir çelik çubuk ile 25'er kez şişlenmektedir. Şayet, betonun çökme değeri 7.5 cm'den az ise, kap içerisine doldurulan beton iki eşit kademede yerleştirilmekte ve her kademedeki beton, dahili vibratör ile sıkıştırılmaya tabi tutulmaktadır. Hacmi bilinen bir kap içerisine yerleştirilen ve sıkıştırılma işlemi yapılan betonun yüzeyi düzeltildikten sonra kap içerisinde bulunan betonun net ağırlığı bulunmaktadır. Birim ağırlık değeri aşağıdaki ilişkiye göre hesaplanmaktadır.

Birim Ağırlık=Betonun ağırlığı/Kabın iç hacmi

Laboratuvar Çalışması

Daha önceden karışım hesabı yapılmış olan beton için gerekli miktarlarda malzeme alınarak laboratuvar tipi mikser içine konulacak ve en az 3 dakika karıştırılacaktır. Sertleşmiş beton deneylerinde kullanılmak üzere 2 adet silindir (R10x20cm), 2 adet küp

(15x15x15cm) ve 2 adet dikdörtgen prizması (7x7x28cm) beton numunesi hazırlanacaktır. Elde edilen taze beton üzerinde çökme hunisi (slump) ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılacaktır. Daha sonra taze beton, önceden hazırlanmış ve yağlanmış olan kalıplara yerleştirilecektir. 24 saat sonra kalıplar sökülecek ve numuneler kür edilmek üzere 20 ± 2 °C'de kirece doygun suda kür edilecektir.

Deney Raporunun Hazırlanması

Hazırlayacağınız deney raporlarının aşağıda belirtilen bölümlerden oluşması gerekmektedir. Raporlarınızın deney esnasında üzerinde durulan bilgiler ve yorumları içermesine dikkat ediniz.

-Kapak Sayfası

-Özet şeklinde teorik bilgi

-Deneylerin yapılışı

-Sonuçlar ve yorumlar

Deney Adı: Sertleşmiş Beton Deneyleri I (Basınç, Yarmada-Çekme ve Eğilmede Çekme Deneyleri)

Deneyin yapıldığı yer: Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı

Bu deney; betonun en önemli iki mekanik özelliği olan basınç ve çekme dayanımlarının belirlenmesine yönelik olan, sertleşmiş beton deneylerini içermektedir. Aşağıda bu deneylerle ilgili teorik ve deneysel bilgiler verilmiştir.

A. BETONUN BASINÇ DAYANIMININ BELİRLENMESİ (STANDART DENEY YÖNTEMİ)

1. GİRİŞ

Betonun basınç dayanımı, "eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyeti (eksenel basınç yükü etkisiyle, betonda oluşan maksimum gerilme)" olarak tanımlanmaktadır.

Betonda araştırılan değişik dayanım türleri arasında mühendislik uygulamalarında en çok kullanılanı (ve en popüler olanı) "**basınç dayanımı**"dır. Bunun nedenleri;

- Basınç dayanımının bulunabilmesi için uygulanan deney yöntemleri diğer dayanım türlerinin bulunabilmesi için uygulanan yöntemlerden daha basittir.
- Hemen hemen tüm yapıların tasarımında, betonun basınç dayanımı değeri esas alınmaktadır. Birçok yapıda, betonun önemli miktarda çekme, eğilme, yorulma gibi değişik yüklere maruz kalmayacağı varsayılmakta ve betonun üzerine gelen en önemli yüklerin basınç yükleri oldukları kabul edilerek hesap yapılmaktadır.
- Betonun basınç dayanımı ile çekme ve eğilme dayanımları arasında, yaklaşık da olsa, bir korelasyon bulunmaktadır. Bu nedenle, basınç dayanımı bilindiği takdirde, diğer türdeki dayanımların büyüklükleri hakkında da bir fikir elde edilebilmektedir
- Basınç dayanımının bilinmesi, betonun diğer (dürabilite ile ilgili) özellikleri hakkında kalitatif bilgi sağlamaktadır. Örneğin, basınç dayanımının yüksek olması, betondaki su geçirimsizliğin az olduğunu ve dayanıklılığın yüksek olduğunu işaret etmektedir.

Beton basınç dayanımını ölçebilmek için değişik deney yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar arasında en çok kullanılanlar şunlardır:

1. Taze betondan hazırlanan standart boyutlu numunelerin standartlarında belirtilen süre ve koşullarda kür edildikten sonra kırılmaya tabi tutuldukları "**standart deney yöntemi**",
2. "**hızlandırılmış küre tabi tutulan numunelere uygulanan basınç dayanımı yöntemi**",
3. "**karot numunelere uygulanan basınç dayanımı yöntemi**",
4. "**beton test çekici uygulayarak basınç dayanımının bulunduğu deney yöntemi**",
5. "**ultrasonik test cihazı uygulayarak basınç dayanımının bulunduğu deney yöntemi**".

Basınç dayanımını belirlemek için uygulanan değişik deney yöntemleri sonucunda birbirinden farklı değerler elde edilmektedir. Herhangi bir deney yöntemi özel olarak belirtilmediği takdirde ve betonun basınç dayanımından söz edildiğinde, böyle bir değer, bu fıkıda açıklanan "**standart deney yöntemi**" ile elde edilen değer olduğu anlaşılmaktadır.

2. STANDART DENEY YÖNTEMİ

Bu yöntemin uygulanmasında beton standartlarında belirtilen boyutlara sahip standart silindir (veya küp) numuneler kullanılmaktadır. Bu numuneler beton taze iken silindir veya küp şekil kalıplara, beton standartlarının belirttiği tarzda, yerleştirilmekte ve bir gün sonra kalıplarından çıkartılmaktadır. Kalıplarından çıkartılan sertleşmiş beton numuneleri, deney tarihine kadar (genellikle betonun yaşı 28. güne gelinceye kadar) beton standartlarının belirttiği kür ortamında saklandıktan sonra, deney presi olarak adlandırılan bir alet vasıtasıyla üniform basınç yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır.

2.1. DENEYİN AMACI

Basınç dayanımının "standart deney yöntemi" ile elde edilmesindeki amaçlar;

- Yapıların tasarımında, betonun belirli bir basınç dayanımı değerine sahip olacağı varsayılmakta ve hesaplar ona göre yapılmaktadır. Yapıların tasarım hesaplarına esas oluşturan basınç dayanımı değerinin, standart yöntemin uygulanması ile elde edilen basınç dayanımı değeri olduğu kabul edilmektedir.
- Yapıda kullanılmak üzere *üretilecek* olan betonun basınç dayanımının, tasarım hesaplarında kullanılmış olan değerden daha az olmaması gerekmektedir. Bunun için, önce, beton karışım hesapları yapılarak istenilen basınç dayanımını elde edebilmek için betonu oluşturacak malzemelerin hangi oranlarda karılmaları gerektiği araştırılmaktadır. Karışım hesaplarında hedeflenen basınç dayanımı değeri, standart deney yöntemine göre bulunacak olan beton basınç dayanımıdır. Karışım hesaplarına uygun olarak laboratuarda üretilmiş olan betonun istenilen basınç dayanımında olup olmadığının araştırılması, standart deney yöntemiyle yapılmaktadır
- Yapıda kullanılacak olan beton, karışım hesapları sonunda saptanmış olan malzeme oranlarına uygun olarak üretilmektedir. Ancak, bazen, beton santrallerinde üretilerek yapıya taşınan betonun kalitesi, elde edilmek istenen beton kalitesinden farklılıklar gösterebilmektedir. (Bu farklılıklara yol açan bazı nedenler; kullanılan malzemelerin cinsinde herhangi bir değişiklik olması, beton santralindeki karılma süresinin gereğinden daha az veya çok fazla olması, üretimden hemen sonraki beton kıvamı ile betonun teslim edildiği andaki kıvam arasındaki değişiklik veya başka bir nedenle beton karışımına su eklenmesi, beton karışımının sıcaklığı, vb). Bu nedenle, yapıda kullanılmak üzere teslim alınan betonun istenilen kalitede bir beton olup olmadığının mutlaka kontrol edilmesi gerekmektedir. Betonun kabul veya reddedilmesi için teslim alınan betonun basınç dayanımının araştırılması da standart deney yöntemine uygun olarak yapılmaktadır.
- Betonun üretildiği yöntem, saklandığı kür ortamı, numunelerin farklı şekil ve boyutta olması, uygulanan deney yükünün hızındaki farklılık gibi birçok faktör, deney sonunda elde edilen basınç dayanımı değerinin farklı olabilmesine yol açmaktadır. Bu faktörlerin her birinin, elde edilen basınç dayanımı değeri üzerindeki etkisini bulabilmek için, Standart deney yöntemi kullanılmaktadır. Başka bir ifadeyle, beton üzerinde yapılan bilimsel çalışmalarda genelde bu yöntem kullanılmaktadır.

2.2. DENEYİN YAPILIŞI

Betonun basınç dayanımının elde edilebilmesi için uygulanan "standart deney yöntemi" ile ilgili Türk standardı **TS EN 12390-3 (Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini)**'dir.

2.2.1. Silindir Şekilli Numunelere Başlık Yapılması

Beton numunesinin alt ve üst yüzeylerine üniform dağılımlı eksenel yük uygulanabilmesi için, deney presinin başlıklarıyla temas eden beton numunesinin alt ve üst yüzeylerinin mükemmel düzgünlükte olmaları gerekmektedir. Beton numunesinin alt ve üst yüzeylerinde çıkıntılar veya çukurlar bulunduğu takdirde, eksenel yükün üniform dağılımlı tarzda uygulanabilmesi mümkün olamamaktadır.

Beton silindir numunelerinin üst (gerek duyulması durumunda alt) yüzeyini pürüzsüz düzgünlükteki bir duruma getirebilmek amacıyla, deneyden önce, bu yüzeylerde, kükürt veya kükürt-grafit tozu karışımı bir malzemeden veya çimento hamurundan veya çimento-alçı karışımından oluşan ince fakat yüzeyi çok düzgün bir tabaka oluşturulmaktadır. Başlık kalınlığı ortalama 5mm olmalı ve başlıklama özel olarak yapılmış kükürt potasında yapılmalıdır.

2.2.2. İşlemin Yapılışı

Deney numuneleri kür odasından çıkartıldıktan boyutları, 1 mm hassasiyetle ikişer yerden ölçülür ve bu boyutlar kullanılarak hesaplanan basınç alanı $0,1 \text{ cm}^2$ 'ye yuvarlatılır ve ortalaması alınarak cm^2 cinsinden kuvvetin tesir ettiği kesit ortalama alanı bulunur (A).

Gerekli görülenlere yukarıda belirtildiği şekilde başlık yapıldıktan sonra deneye başlanır. Deney presinin çelik yükleme plakaları (blokları) ve bunlarla temas edecek numune yüzeyleri iyice temizlenir. Silindir deney numunelerinin alt yüzü, küp deney numunelerinin dökme yönüne dik yüzlerinden biri alt plaka üzerine düşey olarak yerleştirilir. Deney numunesi yavaş yavaş oynatılarak deney numunesi düşey ekseninin pres küresel üst başlık plakasının merkezi ile çakışması sağlanır. Merkezleme hatası; numunenin çapının, ya da bir kenarının 0,01'inden fazla olmamalıdır.

Yüklemeye, sabit bir hızla ve darbe tesiri yapmayacak tarzda, deney numunesi kırılincaya kadar devam edilir. Yükleme hızı; 2-6 MPa/sn arasında olmalıdır. Numune kırılana kadar yükün uygulanmasına devam edilmeli ve deney numunesinin kırıldığı anda presin gösterdiği yük (kırılma anındaki maksimum yük) kaydedilmelidir (P).

2.2.3. Hesaplama

Deney numunesinin basınç mukavemeti, aşağıdaki formülle, tam sayıya yuvarlatılarak hesaplanır:

$$\sigma_g = P/A \dots \dots \dots (1)$$

Burada;

σ = Basınç dayanımı (maksimum basınç gerilmesi, kgf/cm^2), (g indisi kırılma gününü gösterir)

P = Numunenin kırılmasına yol açan maksimum yük miktarı (kgf)

A = Numunenin yük uygulama yönüne dik kesit alanı (cm^2) 'dır.

3. DENEY RAPORU

Raporun hazırlanmasında en az aşağıdaki bilgilerin bulunmasına dikkat edilecektir:

- Numunenin alınış tarihi ve deney zamanındaki yaşı,
- Deney numuneleri bakım tarzı,
- Deney numunesi kırılma kesit ortalama alanı,

- Deney numunesi boyutları (numunenin tanıtılması),
- Kırılma yükü,
- Gerçek yükleme hızı,
- Deney numunelerinin alındığı karışımın kıvamı (çimentonun cinsi ve su/çimento oranı, kullanılan katkı maddelerinin cinsi (eğer mevcut ise), vb,
- Basınç mukavemetleri her numune için) ve mukavemetlerinin aritmetik ortalaması,
- Numune kırılma şekli ve betonun görülen karışım durumu,.
- Karışım hesabı yapılırken hedeflenen dayanım sınıfının yakalanıp yakalanmadığının nedenleriyle birlikte analiz edilmesi.

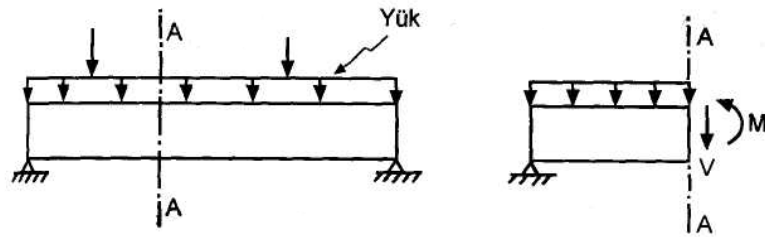
B. BETONUN ÇEKME DAYANIMI

1. GİRİŞ

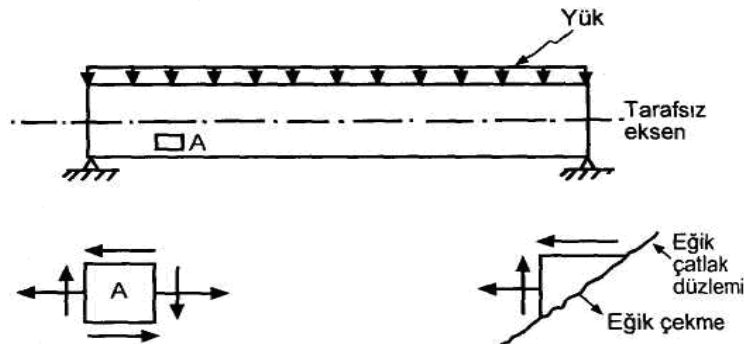
Betonun çekme dayanımı, "betonda çekme etkisi yaratacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti" olarak tanımlanmaktadır.

Genellikle, yapıdaki betona doğrudan çekme kuvveti uygulanmamaktadır. Ancak, beton elemanların üzerlerine gelen basınç ve/veya eğilme kuvvetleri betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır. (Betonda büzülme olması durumunda yer alacak şekil değiştirmelerin agrega taneleri ve betondaki donatı tarafından engellenerek serbestçe yer almaması nedeniyle de betonun içerisinde çekme kuvvetleri oluşmaktadır).

Betondaki çekme kuvvetlerinin nasıl oluştukları Şekil 1.1, 1.2 ve 1.3’de gösterilmiştir:



Şekil 1.1. Basit Kirişteki Kayma Kuvveti ve Eğilme Momenti



Şekil 1.2. Basit kirişin bir A elemanı üzerindeki çekme ve eğik çekme kuvvetleri



Şekil 1.3. Basınç yükü nedeniyle oluşan çekme kuvveti

Şekil 1.1'den görülebileceği gibi, basit bir kirişin üzerindeki eğilme yükleri, kiriş kesitinde kesme kuvveti ve eğilme momenti yaratmaktadır. Eğilme momenti, kirişteki tarafsız eksenin üstünde kalan bölgede basınç gerilmesi, altında kalan bölgede ise, çekme gerilmesi meydana getirmektedir. Yani, Şekil 1.2'de gösterildiği gibi, tarafsız eksenin altındaki bölgede bulunan küçük bir A elemanın üzerinde hem çekme hem de kayma gerilmeleri bulunmaktadır. Kayma gerilmelerine diagonal olan düzleme (eğik düzleme) dik olarak "eğik çekme" kuvveti oluşmaktadır. Eğik çekme kuvveti, eğik düzlem üzerinde "eğik çatlak" olarak adlandırılan çatlakların yer almasına neden olmaktadır.

Şekil 1.3'den görülebileceği gibi, betonun üzerine basınç yükü uygulanması durumunda da, betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetleri oluşmaktadır.

Betonda oluşan çekme kuvvetleri, betonun çatlamasına ve kırılmasına yol açan en önemli neden olarak kabul edilmektedirler.

1.1. Çekme Dayanımının Önemi

Betondaki basınç ve çekme dayanımları birbiriyle yakından ilgilidir. Genel olarak betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının %9 - %10'u kadar olmakla birlikte betonun kalitesine ve yaşına bağlı olarak, bu oran %7 ile %17 arasında da değişebilmektedir.

Yapıların tasarım hesaplarında genellikle kullanılmakta olan dayanım türü, betonun basınç dayanımıdır. Ancak, oldukça gevrek bir malzeme olan betonun çekme kuvvetlerine karşı direnme kabiliyeti çok düşük olduğundan, çekme dayanımının değeri betonun içerisindeki çatlakların oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Betonarme kirişlerde oluşan eğik çekme kuvvetleri çok büyük sorun yaratmaktadır. Betonda büyük çatlakların oluşması, kırılmaya neden olmaktadır.

Betonun kırılmasına yol açabilecek kadar büyük çatlakların oluşmadığı durumlarda dahi, karşılaşılabilecek sorunlar ortadan kalkmamaktadır. Şöyle ki; çatlakların oluşması ile, betonun içerisine dışarıdan su ve bu sularla birlikte sülfat, asit, klor gibi maddelerin girebilmesi daha kolay olmaktadır; betonarme elemanlardaki demir donatı korozyon göstermektedir; betonun içerisine giren yabancı maddelerin yarattığı kimyasal olaylar betonun büyük hasar görmesine, dayanıklılığının azalmasına yol açmaktadır.

Betonun çekme dayanımının bilinmesi, çatlakların ve yapıyla ilgili analizlerin yapılabilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır.

1.2. Doğrudan Çekme Dayanımı, Yarmada Çekme Dayanımı ve Eğilmede Çekme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı, üç değişik deney yöntemiyle bulunabilmektedir

:

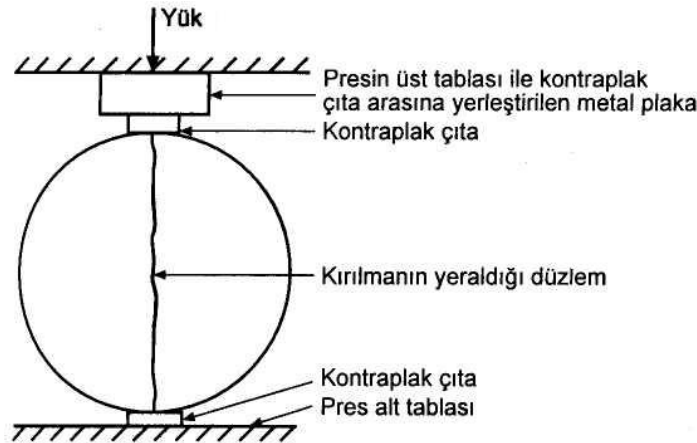
1. Çekme yüklerinin doğrudan uygulanması ile çekme dayanımının elde edildiği yöntem (Doğrudan Çekme Dayanımı Deneyi)
2. Çekme yüklerinin dolaylı olarak uygulanması ile çekme dayanımının elde edildiği yöntem (Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi), ve
3. Beton kırılgan eğilme yüklerinin uygulanması ile eğilme dayanımının ve böylece çekme dayanımının elde edildiği yöntem (Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi).

Doğrudan çekme yüklerinin etkisiyle bulunabilen çekme dayanımı, betonun sahip olduğu gerçek çekme dayanımıdır. Ancak, herhangi bir düzenleme ile dahi, betona doğrudan çekme yükleri uygulayabilmek hem zahmetli hem de zordur. O nedenle, betonun çekme dayanımının bulunabilmesi için doğrudan çekme deney yöntemi nadiren kullanılmakta ve standart bir deney yöntemi bulunmamaktadır. Betondaki çekme dayanımı değerinin elde edilebilmesi için genellikle aşağıda Bölüm 2 ve 3' de açıklanan ve Dolaylı Dayanım Yöntemleri olarak bilinen yöntemler kullanılmaktadır.

2. YARMADA ÇEKME DAYANIMI

Dolaylı çekme yükleri altında betonun çekme dayanımının elde edilebilmesini belirleyen deney yöntemi bütün ülke standartlarında yer almaktadır. Bu konudaki Türk standardı **TS EN 12390-6 (Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini)**.

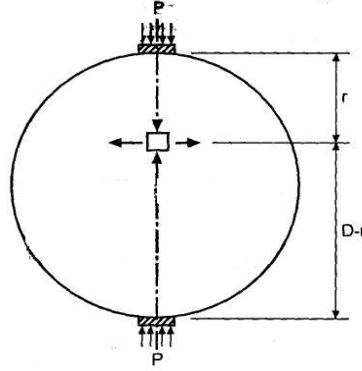
Deneyin uygulanmasında, Şekil 2,1'den görülebileceği gibi, numune, deney presinin üzerine, numune eksenini presin alt tablasına paralel olacak tarzda yatırılmaktadır. Numunenin yan yüzünün alt ve üst kısımlarına 25 mm eninde ve yaklaşık 3 mm kalınlığında kontraplak çıtalar yerleştirilmektedir. Deney presi vasıtasıyla uygulanan basınç yükü numune kırılıncaya kadar devam ettirilmekte ve kırılma yükü (P) ölçülmektedir. Böyle bir yükleme altında, silindirik numunenin kırılma tarzı, numunenin ortadan yarılarak iki parçaya ayrılması şeklinde gerçekleşmektedir.



Şekil 2.1. Yarma deneyi uygulama düzeni

Silindirik şekilli beton numuneye Şekil 2.2'de görüldüğü tarzda basınç yükünün uygulanması durumunda, beton, yük ekseninde kısalmaya ve yük eksenine dik olan yatay ekseninde ise uzamaya maruz kalmaktadır. Betonun içerisinde küçük bir eleman incelenecek olursa, bu elemanın

üzerinde basınç gerilmeleri ve basınç gerilmeleri nedeniyle ortaya çıkmış olan çekme gerilmeleri bulunmaktadır.



Şekil 2.2. Yarma Deneyi

Şekil 2.2'deki elemanın üzerinde oluşan basınç gerilmesi ve çekme gerilmesi aşağıda belirtilen değerlere eşittir:

$$\text{Çekme Gerilmesi} = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots(2)$$

Yukarıdaki formülde,

P = Kırılmaya neden olan basınç yükü (kgf),

L = Silindir numunenin boyu (cm),

D = Silindir Numunenin çapı (cm)'dir.

Betonun içerisinde oluşan basınç gerilmesinin değeri çekme gerilmesininkinden daha yüksektir. Beton kesitinin ortasında, yani D/2 noktasında, betonda oluşan basınç gerilmesi, çekme gerilmesinden 3 kat daha fazladır. Ancak, betonun çekme yüklerine karşı gösterebileceği direnç yüksek olmadığından, betondaki kırılma, çekme yükleri nedeniyle yer almış olmaktadır.

Basınç yükü uygulanarak, beton numunelerin dolaylı çekme etkisi altındaki dayanımlarının ölçüldüğü bu yöntem, ilk olarak 1953 yılında, Brezilyalı Carnerio ve Barcellas tarafından önerilmiştir. Bu nedenle "Brezilya yöntemi" olarak da anılmaktadır. Dolaylı çekme dayanımı yönteminin uygulanması sonucunda beton numune yarılarak iki parçaya ayrıldığı için, bu yöntem, genellikle "yarma deneyi yöntemi" olarak anılmaktadır.

2.1. Deneyin Yapılışı

Deney numunesi paralel iki düzlem içine konarak eksene göre simetrik iki doğrultmanı çizilir. Bu doğrultmanlar üzerinde uçlara yakın iki yerden ve bir de ortadan olmak üzere 0,1 mm duyarlıkta üç çap ölçümü yapılır. Sonra tam üç çap ölçümünün aritmetik ortalaması alınarak ortalama çap bulunur (D). Deney numunesi uzunluğu ise 0,1 mm duyarlıkla aritmetik ortalaması alınarak bulunur (L).

Deney silindiri pres tablasına yerleştirilirken, çizilmiş bulunan silindir çap çizginin tam düşey olmasına dikkat edilir. Deney silindiri alt ve üst yan yüzüne kontrplak bandlar konarak deneye başlanır.

Deney yükü deney presinin yükleme hızı devamlı ve darbesiz olarak saniyede 0,5-0,6 MPa olacak tarza deney silindiri kırılıncaya kadar artırılır ve kırılma anında deney presi ekranında görülen en büyük değer (P) kaydedilir.

2.2. Hesaplama

Deney numunesinin silindir yarma metoduna göre silindir yarma çekme dayanımı (σ_y) değeri yukarıda verilen 2 no.'lu formülle hesaplanır.

2.3. Deney Raporu

Deney sonuçlarının belirtileceği raporlarda en az aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır

- Deney numunelerinin tanıtılması ve boyutları,
- Deney numunesi yaşı,
- Deney numunesinin kırılma yükü,
- Deney numunesinin kırılma şekilleri,
- Deney numunesinin kırık yüzeylerinin görünüşü,
- Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımı ve bunların aritmetik ortalaması,
- Deney numunelerinin ait olduğu taze betonun kıvam değeri,
- Deney numunelerinin bakım koşulları,
- Deney sonuçlarının yorumlanması

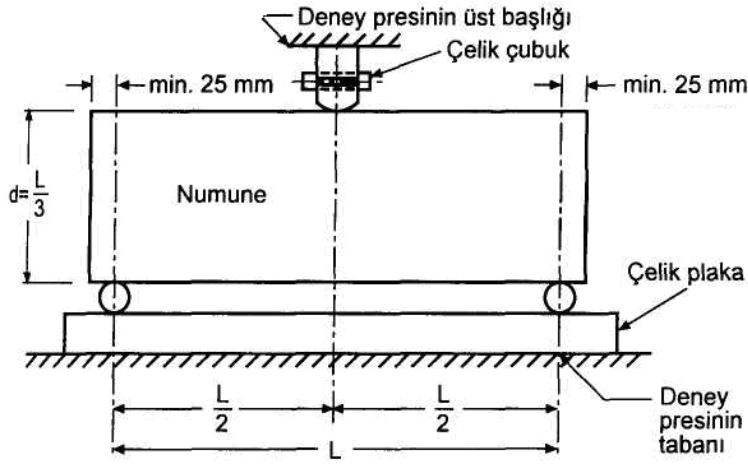
3. EĞİLME DAYANIMI (EĞİLMEDE ÇEKME DAYANIMI)

3. EĞİLME DAYANIMI (EĞİLMEDE ÇEKME DAYANIMI)

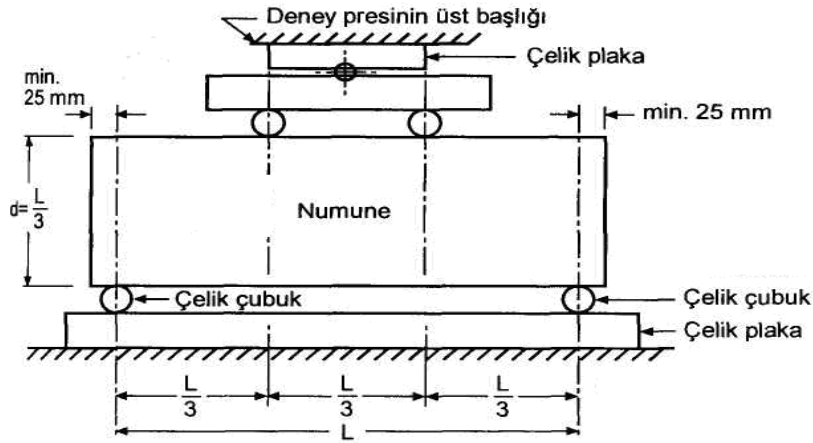
Betonun eğilme dayanımının bulunabilmesi ile ilgili Türk standardı TS EN 12390-5 (Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini)'dir.

Betonun eğilme dayanımının bulunabilmesi için beton kiriş numuneler hazırlanmakta ve Şekil 3.1'de görüldüğü gibi beton kirişin oturtulduğu mesnetlerin arasındaki mesafenin orta noktasından (L/2 mesafesinden) yüklenme yapılarak deney gerçekleştirilmektedir. Gerçekte, betonların eğilme dayanımının araştırılmasında genellikle kullanılan yükleme yöntemi, yükün mesnetlerden L/3 uzaklıktaki iki noktadan uygulandığı Şekil 3.2'de verilen yöntemdir. Ancak numune boyutlarının kısa olmasından dolayı bu föyde sadece orta noktasından yüklenen basit kiriş yöntemi anlatılacaktır.

.



Şekil 3.1. Kirişin orta noktasından yüklenmesi durumunda eğilme deneyi yöntemi



Şekil 3.2. Mesnetlerden L/3 uzaklıktaki yükleme durumunda eğilme deneyi yöntemi

Beton kiriş numunelerde kırılmaya neden olan yük deney presinin göstergesinde okunduktan sonra, eğilme dayanımının hesaplanabilmesi için aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

$$\sigma_e = \frac{Mc}{I} \dots\dots\dots(3)$$

Burada;

σ_e : Eğilme dayanımı (kgf/cm²)

M: Maksimum moment,

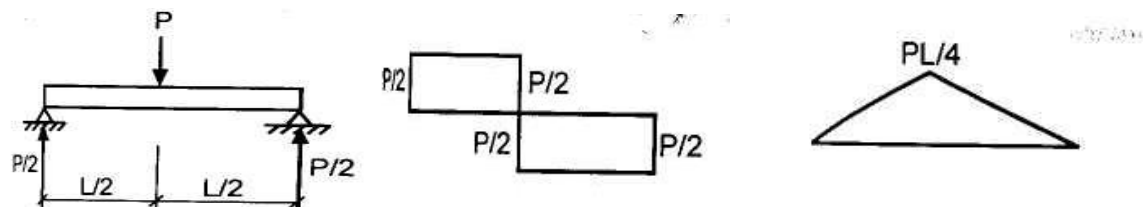
c: Tarafsız eksen ile kiriş yüksekliğinin en uç noktası arasındaki uzaklık, (yani d/2),

d: Kiriş kesitinin yüksekliği (cm),

b: Kiriş kesitinin eni (cm),

I: Atalet momenti (dikdörtgen kesitler için $I = bd^3/12$; kare kesitler için $I = d^4/12$)

Orta noktadan yüklenen dikdörtgen kesitli beton kiriş numunelerde oluşan kesme kuvvetleri ve momentler Şekil 3.3'de verilmiştir.



(kesme kuvvet diyagramı) (moment diyagramı)
Şekil 3.3. Orta noktasında yüklenen kirişteki kesme ve Moment diyagramı

Bu moment değerleri 3 no.'lu formülde yerine konulacak olursa orta noktasından yüklenen basit kirişte eğilme dayanımı için aşağıdaki formül elde edilir:

$$\sigma_e = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots(4)$$

3.1. Deneyin Yapılması

Yükleme tablasındaki mesnet silindirleri, deney uygulanacak numunenin boyuna uygun gelen yataklara oturtulur. Daha sonra beton deney numunesi yükleme tablası üzerindeki mesnetlere mesnetlerden en az 2.5 cm taşacak şekilde uygun olarak yerleştirilir. Numunenin kalıp içinde iken üste gelen yüzünün, deney sırasında uygulanacak yüklemenin yönüne paralel olarak konmuş olmasına dikkat edilmelidir. Numunenin yatay olması sağlanmalı, yükleme yönü numunenin yüklemeye uygulanan yüzeyine dik olmalıdır. Yüklemeye, kırılma yaratacak yük değerinin yarısına kadar hızlı olarak yapılabilir. Bundan sonra yüklemeye çekme gerilmelerinde meydana gelecek artımlar dakikada 0,4-0,6 Mpa/sn aralığında olacak şekilde ve numune kırılıncaya kadar devam edilmelidir. Darbeli yüklemeye izin verilmemelidir.

3.2. Ölçme

Deney numunesi kırıldıktan sonra, kırılma kesitinin genişliği ve yüksekliği kenarlarda ve ortada 1 mm duyarlılıkla yapılan üç ölçünün aritmetik ortalaması alınarak bulunur.

3.3. Hesaplama

Orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu ile yapılan eğilmede çekme dayanımı tayini deneyi sonucu eğilmede çekme dayanımı yukarıdaki 4 no.'lu formül ile hesaplanır.

3.4. Deney Raporu

Deney raporunda en az aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır.

- Deney numunesinin yaşı,
- Numunenin tanıtılması ve boyutları,
- Deney numunesinin kırılma yükü,
- Deney numunesinin kırılma şekli,
- Deney numunesinin bakım koşulları,
- Deney numunesinde kırık yüzeylerin görünüşü,
- 0.5 kgf/cm² ye yuvarlatılmış eğilmede çekme dayanımı değerleri ve aritmetik ortalamaları,
- Eğilmede çekme dayanımı ile yarmada çekme dayanımının karşılaştırılması
-

NOTLAR:

1. RAPORLAR EL YAZISI İLE YAZILACAK
2. SONUÇLAR YA DA NUMUNELERLE İLGİLİ BİLGİLER ÇİZELGELER HALİNDE VERİLECEK
3. RAPOR TESLİM SÜRESİ DENEY YAPILDIKTAN SONRA BİR HAFTADIR.
4. SONUÇLAR ÖZGÜN OLARAK YORUMLANACAKTIR

RAPORDA BELİRTİLMESİ GEREKEN BİLGİLER

..... tarihinde karışımını hazırladığımız beton; çimento tipi.....
agrega tipi,....., Dozajı,....., su/çimento
oranı,..... katkı maddeleri..... katkı oranları
.....olup
ortamında kullanıma uygun 28 günlük basınç dayanımıolan bir
beton karışımıdır. Bu betonun üretimini tarihinde yaptık ve
çökme değeriniolarak bulduk.tarihinde kür
havuzuna yerleştirdik. Üretilen betonun üzerinde yaptığımız deneysel sonuçlar
aşağıdaki gibidir:

	Numune No	Numune Boyutları	Yük (P)	Dayanım (σ)
Basınç Dayanımı				

Yarmada Çekme Dayanımı				
Eğilmede Çekme Dayanımı				

Beton Test Çekici Sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ortalama
1. Numune											
2. Numune											
3. Numune											
4. Numune											
5. Numune											
6. Numune											

	Geri Sıçrama Değerleri	Basınç Dayanımı Değerleri (Geri Sıçrama değerlerine göre)	Standart Deney Yöntemi Basınç Dayanımı Sonuçları
1. Numune			
2. Numune			
3. Numune			
4. Numune			
5. Numune			
6. Numune			

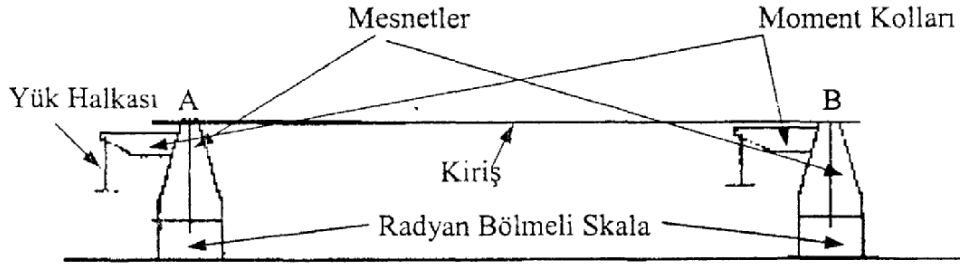
Deney Adı: Model Kiriş Deneyleri**Deneyin yapıldığı yer:** Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı**İş sağlığı ve güvenliği açısından gerekli malzemeler:** Laboratuvar önlüğü

Amaç: Model kiriş deneylerinin amacı, yapı mekaniğinde önemli olan ve öğrencilerin mukavemet, yapı statığı gibi derslerde gördüğü bazı teorilerin doğruluğunu deneysel olarak göstermek suretiyle, öğrencilerin bu teorileri daha iyi anlamasını sağlamaktır. Bu amaçla model kiriş üzerinde aşağıda belirtilen deneyler yapılacaktır.

1. Ankastrelik momentlerinin gerçekleştirilmesi
2. Redör ve taşıma katsayılarının gerçekleştirilmesi

Modelin Tanımlaması

Deneylerde kullanılacak model kiriş, mesnetler üzerine oturan ve malzeme sabitleri ve kesit özellikleri bilinen elastik bir malzemeden (çelik) oluşturulmuştur. Modelde kullanılan mesnetler sabit, kayıcı veya ankastre olarak düzenlenebilmektedir. Mesnetlerde oluşan dönmeleri ölçebilmek için her bir mesnette 0.01 radyan bölmeli bir skala bulunmakta ve mesnetlere moment uygulamak veya mesnetlerde oluşan momentleri belirleyebilmek için de her mesnette sabit bir moment kolu bulunmaktadır. Model kirişin kesit ve malzeme özellikleri ile görünüşü aşağıda verilmiştir.



Şekil 1. Model kiriş

Kullanılan malzeme: çelik
Elastisite modülü (E): 200kN/mm²
Kiriş açıklığı (L) : 600 mm
Kesit boyutları (bxh): 25.4x1.65 (mmxmm)

1. Ankastrelik momentlerinin gerçeklemesi

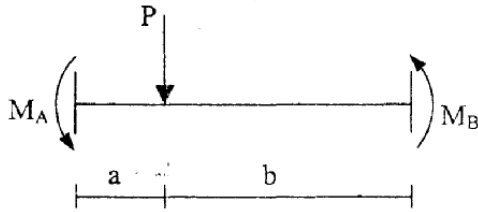
Amaç: Çeşitli yüklemeler etkisi altında hiperstatik sistemlerde bulunan ankastre mesnetlerde meydana gelen uç momentlerine ankastrelik momentleri denir. Hiperstatik sistemlerde kiriş üzerine uygulanan yüklerin etkisiyle oluşan momentlerin dağılımı, kirişin mesnetlenme koşullarına bağlı olmaktadır. Bu tarz sistemlerde oluşan momentlerin (ankastrelik momentleri) belirlenmesi daha önceden yapı statiği dersinde gösterilmişti. Bu deneyde ise teorik olarak hesaplaması yapılan bu momentlerin gerçeklemesi yapılacaktır.

Deneyin Yapılışı:

- Yükleme halkaları kirişin ortasına, A mesnetinden 200 mm uzaklığa ve her iki mesnetteki moment kollarına yerleştirilir.
- Her iki mesnetteki dönme okumaları sıfırlanır.
- Orta açıklıktaki yükleme halkasına $P = 10$ N luk bir yük uygulanır. Uygulanan bu yükün etkisiyle mesnetlerde dönmeler meydana gelir.
- Her iki mesnette bulunan yükleme halkalarına, dönme okumaları sıfır oluncaya kadar yük konur. (Bu durumda her iki uç içinde 7.5 N olacaktır.)

Hesaplamalar:

İki ucu ankastre bir kirişte, uygulanan tekil yükün etkisiyle oluşan ankastrelik momentleri şu şekildedir.



$$M_A = P \cdot a \cdot \frac{b^2}{l^2}$$

$$M_B = -P \cdot b \cdot \frac{a^2}{l^2}$$

Yükün açıklık ortasına uygulanması durumunda ($a=b=L/2$)

$$M_A = M_B = \frac{P \cdot L}{8}$$

Yükün Açıklık Ortasına Uygulanması Durumu:

Yükün açıklık ortasına uygulanması durumunda mesnetlerde oluşacak ankastrelik momentleri teorik olarak

$$M_A = M_B = \frac{P \cdot L}{8} = \frac{10 \cdot 600}{8} = 750 \text{ N} \cdot \text{mm} \text{ olacaktır.}$$

Bu durumda mesnetlerde oluşan dönmeleri sıfırlamak için mesnetlerde bulunan moment kollarına uygulanacak yk her iki mesnet içinde 7.5 N olacaktır. Mesnetlere konsantre moment uygulanarak dönme okumalarının sıfırlanması, mesnetlerin ankastre mesnetle özdeş

hale getirilmesi demektir. Bu durumda mesnetlere uygulanan bu moment bize kirişin ankastrelik momentlerini verecektir. Mesnetlere uygulanan konsantre momentin değeri ise moment kollarının uzunluğu 10 cm olduğu için $7.5 \times 100 = 750 \text{ N} \cdot \text{mm}$ olacaktır.

Yükün Açıklığının Üçte birine Uygulanması Durumu:

Yükün açıklığın üçte birine uygulanması durumunda mesnetlerde oluşacak ankastrelik momentleri teorik olarak,

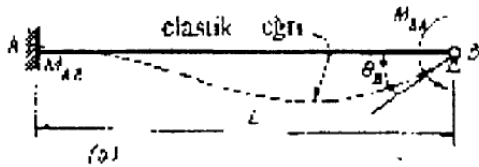
$$M_A = P \cdot a \cdot \frac{b^2}{l^2} = \frac{10 \cdot 200 \cdot 400^2}{600^2} = 889 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_B = -P \cdot b \cdot \frac{a^2}{l^2} = \frac{10 \cdot 400 \cdot 200^2}{600^2} = 444 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Bu durumda mesnetlerde oluşan dönmeleri sıfırlamak için mesnetlerde bulunan moment kollarına uygulanacak yük A mesneti için yaklaşık 8.9 N ($M_A = 8.9 \times 100 = 890 \text{ N} \cdot \text{mm}$), B mesneti için yaklaşık 4.4 N ($M_B = 4.4 \times 100 = 440 \text{ N} \cdot \text{mm}$) olacaktır.

2. Cross Yöntemindeki Redör ve Taşıma Katsayılarının Gerçekleşmesi:

Amaç: Bir mesneti ankastre diğer mesneti mafsallı olan bir kiriş düşünelim ve bu kirişin mafsallı olan mesnedine bir M_B momenti uygulayalım. Bu M_B momentinin etkisiyle B mesneti dönecek ve θ_B açısı oluşacaktır. M_B momenti B mesnedini döndürürken, A mesnedi dönmeyecek ve bu mesnette M_A momenti oluşacaktır. Yapı Statiği dersinden bilindiği üzere M_A ve M_B momentleri arasında şu ilişkiler bulunmaktadır.



Şekil 2. A mesnedi ankastre B mesnedi mafsallı kiriş

$$M_A = \frac{M_B}{2} \quad \text{veya} \quad \frac{M_A}{M_B} = \frac{1}{2} \quad \text{ve}$$

$$\theta_B = \frac{M_B \cdot L}{4EI} \quad \text{veya} \quad \frac{M_B}{\theta_B} = \frac{4EI}{L}$$

Basit mesnete uygulanan M_B momenti ile bu M_B momentinin A mesnedinde oluşturduğu moment arasındaki ilişkiye (1/2) "taşıma katsayısı" adı verilirken, B mesnetinde oluşan θ_B dönmesi ile M_B momenti arasındaki ilişkiyede $(4EI/L)$ "redör" adı verilmektedir.

Aşağıdaki deneylerde daha önceden yapı statik dersinde teorik olarak verilen bu değerlerin gerçekleştirilmesi yapılacaktır.

Taşıma Katsayısının Gerçekleşmesi:

Deneyin Yapılışı:

- Yükleme halkası kirişin ortasına taşınır ve mesnetlerdeki dönmeler sıfırlanır.
- Açıklık ortasındaki yükleme halkasına 10 N luk yük yerleştirilir.
- Yalnızca sol taraftaki mesnetin (A) moment koluna, bu mesnetteki dönme sıfır oluncaya kadar yük uygulanır. (Bu durumda uygulanan yük $7.5 \cdot 1.5 = 11.25 \text{ N}$ olacaktır.)

Redörlerin Gerçekleşmesi:

$\frac{M_B}{\theta_B} = \frac{4EI}{L}$ ifadesindeki θ_B değerinin kendisi yerine, θ_B nin 1'e eşit olduğu özel değerinin (birim dönme) bulunması daha anlamlı olacaktır. Bu durumda, birim dönmeyi sağlanması için gerekli olan momente (M_B) redör adı verilmektedir.

Deneyin Yapılışı:

Uzak ucun (sol uç) ankastre olması hali

- Kirişin sol mesnedini ankastre sağ mesnedi sabit hale getirilir ve sağ mesnetteki moment koluna yükleme halkası takılır. Daha sonra sağ mesnetteki dönme sıfırlanır.
- Yükleme halkasına 5 N luk yükler konur ve her yükleme için dönme okumaları kaydedilir. (her 5 N için 0.04 radyan olmalıdır)

Uzak ucun (sol uç) sabit olması hali

- Yükler boşaltılır ve sol mesnet sabit hale getirilerek sağ mesnetteki dönme okuması sıfırlanır.
- Yükleme halkasına 5 N luk yükler konur ve her yükleme için dönme okumaları kaydedilir. (her 5 N için 0.053 radyan olmalıdır)

Hesaplamalar:

Sol ucun ankastre mesnet olması durumunda θ_B dönmesinin teorik olarak hesaplanması;
(moment kolu 100 mm olduğundan her 5 N luk yükleme için uygulanan moment $M_B=500 \text{ N mm}$ olacaktır)

$$\frac{M_B}{\theta_B} = \frac{4EI}{L} \quad \theta_B = \frac{M_B L}{4EI} = \frac{500 \cdot 600}{4 \cdot 1.9 \cdot 10^6} = 0.04 \text{ rad}$$

Sol ucun sabit mesnet olması durumunda θ_B dönmesinin hesaplanması;
(moment kolu 100 mm olduğundan her 5 N luk yükleme için uygulanan moment $M_B=500 \text{ N mm}$ olacaktır)

$$\frac{M_B}{\theta_B} = \frac{3EI}{L} \quad \theta_B = \frac{M_B L}{3EI} = \frac{500 \cdot 600}{3 \cdot 1.9 \cdot 10^6} = 0.053 \text{ rad}$$



CROSS METODU

YÜK	ANKASTRELİK MOMENTLERİ	YÜK	ANKASTRELİK MOMENTLERİ
	$M_{ij} = \frac{q \cdot l^2}{12}$ $M_{ji} = -\frac{q \cdot l^2}{12}$		$M_{ij} = \frac{q}{12} \left[l^2 - 2 \left(2 - \frac{3}{l} \right) \right]$ $M_{ji} = -\frac{q}{12} \left[l^2 - 2 \left(2 - \frac{3}{l} \right) \right]$
	$M_{ij} = \frac{q \cdot l^2}{4} \left[2 - \frac{3}{l} \left(\frac{8}{3} - \frac{2}{l} \right) \right]$ $M_{ji} = -\frac{q \cdot l^2}{12} (4l - 3a)$		$M_{ij} = \frac{l^2}{60} (3q_1 + 2q_2)$ $M_{ji} = -\frac{l^2}{60} (2q_1 + 3q_2)$
	$M_{ij} = \frac{q \cdot c}{24l} (3l^2 - c^2)$ $M_{ji} = -\frac{q \cdot c}{24l} (3l^2 - c^2)$		$M_{ij} = \frac{q \cdot l^2}{15}$ $M_{ji} = -\frac{q \cdot l^2}{15}$
	$M_{ij} = \frac{q \cdot c}{12l^2} \left[(4l^2 - c^2)(2b - a) - 4(2b^3 - a^3) \right]$ $M_{ji} = -\frac{q \cdot c}{12l^2} \left[(4l^2 - c^2)(2a - b) - 4(2a^3 - b^3) \right]$		$M_{ij} = P \cdot a \cdot \frac{b^2}{l^2}$ $M_{ji} = -P \cdot b \cdot \frac{a^2}{l^2}$ Özel hal: $a = b = \frac{l}{2}$ $M_{ij} = P \cdot l/8, M_{ji} = -P \cdot l/8$
	$M_{ij} = \frac{q \cdot l^2}{6l} (3l - 2a)$ $M_{ji} = -\frac{q \cdot l^2}{6l} (3l - 2a)$		$M_{ij} = \frac{P \cdot a}{l} (l - a)$ $M_{ji} = -\frac{P \cdot a}{l} (l - a)$
	$M_{ij} = \frac{5}{96} q \cdot l^2$ $M_{ji} = -\frac{5}{96} q \cdot l^2$		$M_{ij} = \frac{P \cdot l}{12} \left(n - \frac{1}{n} \right)$ $M_{ji} = -\frac{P \cdot l}{12} \left(n - \frac{1}{n} \right)$
	$M_{ij} = \frac{q}{180l} \left[7l^3 - 7l^2(a - 2b) + 3l(a^2 - 2b^2) + 3(2a^3 - b^3) \right]$ $M_{ji} = -\frac{q}{180l} \left[7l^3 + 7l^2(2b - a) - 3l(2a^2 - b^2) - 3(2a^3 - b^3) \right]$		$M_{ij} = \frac{P \cdot l}{12} \left(n + \frac{1}{2n} \right)$ $M_{ji} = -\frac{P \cdot l}{12} \left(n + \frac{1}{2n} \right)$
	$M_{ij} = \frac{q \cdot l^2}{20}$ $M_{ji} = -\frac{q \cdot l^2}{30}$		$M_{ij} = M \cdot \frac{a}{l} \left(4 - 3 \frac{a}{l} - \frac{1}{2} \right)$ $M_{ji} = M \cdot \frac{a}{l} \left(3 \frac{a}{l} - 2 \right)$
	$M_{ij} = \frac{q \cdot l^2}{12l} (2l - a)$ $M_{ji} = -\frac{q \cdot l^2}{12l} (2l - a)$		$M_{ij} = \frac{6EI \cdot \delta}{l^2}$ $M_{ji} = \frac{6EI \cdot \delta}{l^2}$

CROSS METODU

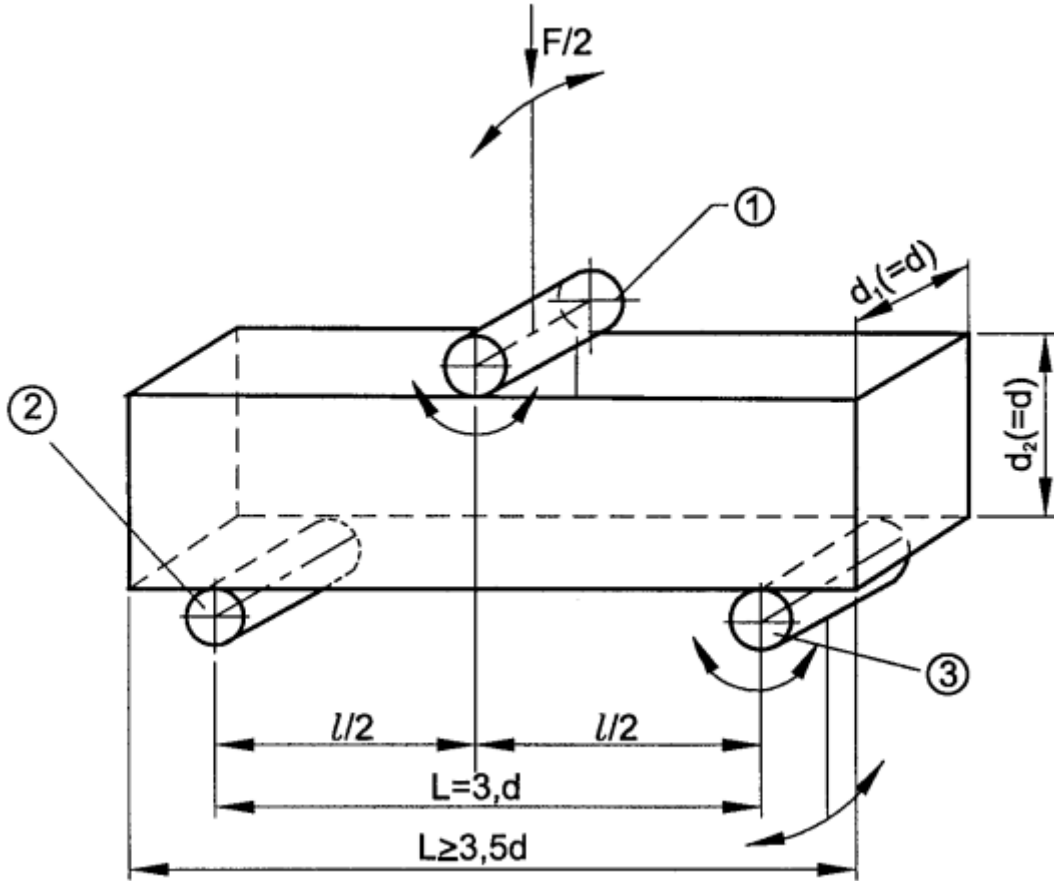
YÜK	ANKASTRELİK MOMENTLERİ	YÜK	ANKASTRELİK MOMENTLERİ
	$\bar{M}_{ij} = \frac{ql^2}{8}$		$\bar{M}_{ij} = \frac{q}{8} \left[l^2 - 2^2 \left(2 - \frac{a}{l} \right) \right]$
	$\bar{M}_{ij} = \frac{qa^2}{8} \left(2 - \frac{a}{l} \right)^2$		$\bar{M}_{ij} = \frac{l^2}{120} (8q_1 + 7q_2)$
	$\bar{M}_{ij} = \frac{qc}{16l} (3l^2 - c^2)$		$\bar{M}_{ij} = \frac{ql^2}{10}$
	$\bar{M}_{ij} = \frac{qbc}{8l^2} \left[\frac{1}{3} (l^2 - b^2) - c^2 \right]$		$\bar{M}_{ij} = \frac{Pa \cdot b \cdot (b+l)}{2l^2}$ Özel hal. $a=b=\frac{l}{2}$ $\bar{M}_{ij} = \frac{3}{16} Pl$
	$\bar{M}_{ij} = \frac{qa^2}{4l} (3l - 2a)$		$\bar{M}_{ij} = \frac{3}{2} Pa \left(1 - \frac{a}{l} \right)$
	$\bar{M}_{ij} = \frac{5}{64} ql^2$		$\bar{M}_{ij} = \frac{P \cdot l}{8} \left(n - \frac{1}{n} \right)$
	$\bar{M}_{ij} = \frac{ql}{120} (l+b) \left(7 - 3 \frac{b^2}{l^2} \right)$		$\bar{M}_{ij} = \frac{P \cdot l}{8} \left(n + \frac{1}{2n} \right)$
	$\bar{M}_{ij} = \frac{ql^2}{15}$		$\bar{M}_{ij} = \frac{M \cdot l}{l} \left(3 - 1.5 \frac{a}{l} - \frac{1}{2} \right)$
	$\bar{M}_{ij} = \frac{qa^2}{8l} (2l - a)$		$\bar{M}_{ij} = \frac{3FI}{l^2} \cdot 6$

'i' ucu basit mesnet 'j' ucu ankastre mesnet olduğu zaman $\bar{M}_{ij} = 0$ dir. $\bar{M}_{ji}$ ler ise, a ankastre mesnetten olan uzaklığı göstermek üzere, yukarıdaki formüllerle bulunan sonuçların zıt işaretlilerine eşittir.

Deney Adı: Betonarme Kirişlerde Eğilme Deneyi

Deneyin Yapıldığı Yer: Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı

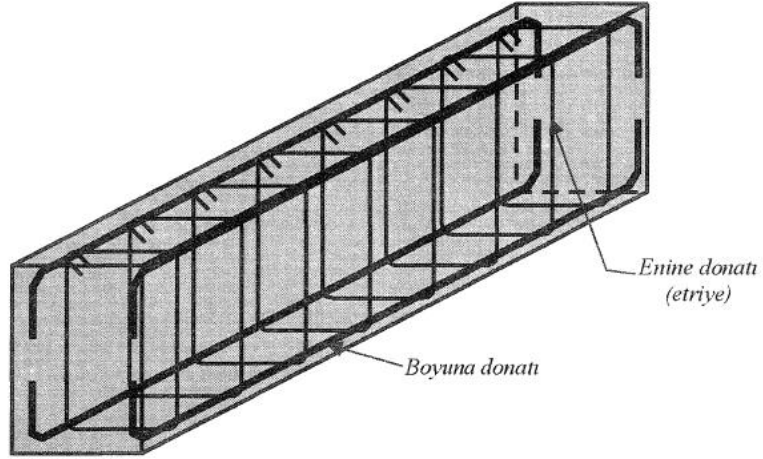
AMAÇ: Dikdörtgenler prizması şeklinde imal edilecek betonarme kirişlere mesnet (alt) ve yük (üst) silindirleri yoluyla betonarme kirişlerde eğilme momenti oluşturulacaktır. Yükleme boyunca betonarme kirişlerde yük ve bu yüklere karşılık gelen şekil değiştirmeler kayıt edilecektir.



Şekil 1. Eğilme Deney Düzeneği

Taşıyıcı sistem içinde kirişlerin iki temel görevinden söz edilebilir. Bunlardan birincisi, düşey doğrultuda etkiyen ve döşemeden aktarılan kalıcı/hareketli yükler ile varsa üzerindeki duvar yüklerini, mesnetlendikleri kolon ya da perdelerle aktarmaktır. Bu yükler düşey olarak etkimektedir. İkincisi ise, özellikle deprem ve rüzgâr nedeniyle yapıya etkiyen yatay yükleri, döşemelerle birlikte düşey taşıyıcı elemanlara aktarmaktır. Kirişlerde, yüklemeye ve mesnetlenme biçimine bağlı olarak eğilme momenti, kesme kuvveti, burulma momenti ve eksenel (normal) kuvvet meydana gelebilir.

DENEYİN YAPILIŞI: Eğilme momentine maruz bırakılacak betonarme kirişler geometrik hesabı deney esnasında yapılacaktır. Betonarme kirişlerde boyuna donatı olarak minimum donatı oranında kalınacaktır. Enine donatı sıklaştırma bölgesi ve kiriş gövdesi olmak üzere iki farklı etriye aralığı şeklinde dizayn edilecektir.



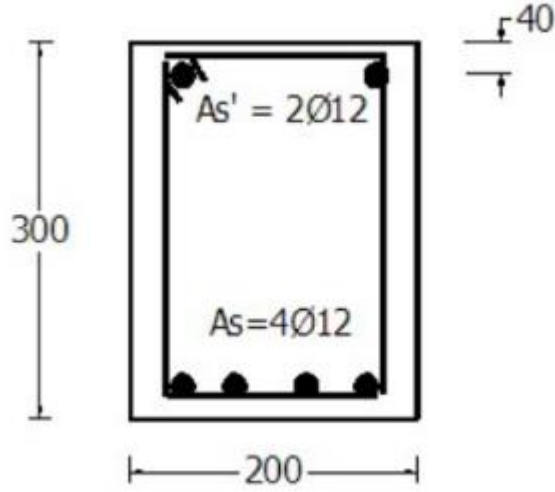
Şekil 2. Betonarme Kiriş Örneği

Yükleme tablasındaki mesnet silindirleri, deney uygulanacak numunenin boyuna uygun gelen yataklara oturtulur. Daha sonra beton deney numunesi yüklem tablası üzerindeki mesnetlere mesnetlerden en az 2.5 cm taşacak şekilde uygun olarak yerleştirilir. Numunenin kalıp içinde iken üste gelen yüzünün, deney sırasında uygulanacak yüklemenin yönüne paralel olarak konmuş olmasına dikkat edilmelidir. Numunenin yatay olması sağlanmalı, yüklem yönü numunenin yüklem uygulanan yüzeyine dik olmalıdır. Yüklem, kırılma yaratacak yük değerinin yarısına kadar hızlı olarak yapılabilir. Bundan sonra yüklemeye çekme gerilmelerinde meydana gelecek artımlar dakikada 10 kgf/cm² (100 N/cm²) den fazla olmayacak şekilde ve numune kırılıncaya kadar devam edilmelidir. Darbeli yüklemeye izin verilmemelidir.

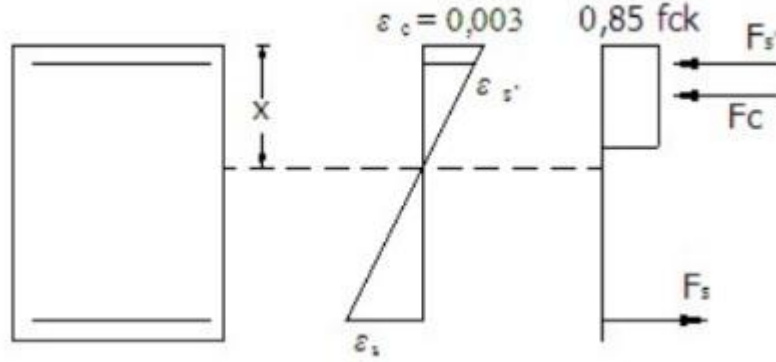
DENEY SONUÇLARININ GÖSTERİLMESİ:

Deney sonucunda elde edilecek gerilme-şekil değiştirme grafiği çizilecektir. Elde edilen grafik üzerinden betonarme kirişin nihai dayanımı, nihai şekil değiştirmesi, enerji sönümleme kapasitesi, duktilitesi hesaplanarak yorumlanacaktır. Ayrıca betonarme kiriş yüzeyinde oluşacak çatlakların yorumlanması yapılacaktır.

ÖRNEK HESAP



BETON : $f_{cj,ort} = 20$ MPa (Deney günü standart silindirden elde edilen ortalama değer)
DONATI : S420



$$\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = 0.003$$

$$\varepsilon_{s'} = \frac{x - d'}{x} \varepsilon_c = \frac{x - 40}{x} 0.003$$

$$\sigma_{s'} = E_s \varepsilon_{s'} = 200000 \frac{x - 40}{x} 0.003 = 600 \frac{x - 40}{x}$$

$$F_c = 0.85 f_{ck} b \cdot a = 0.85 \cdot 20 \cdot 200 a = 3400 a$$

$$a = 0.85 x \quad F_c = 2890 x$$

$$F_{s1} = A_s f_{yk} = 452 \cdot 420 = 189.84 \text{ kN}$$

$$F_{s'} = A_{s'} \sigma_{s'} = 226 \cdot 600 \frac{x - 40}{x} = 135600 \frac{x - 40}{x}$$

$$F_c + F_{s2} - F_s = 0 \quad 2890x + 135600 \frac{x - 40}{x} - 189840 = 0$$

$$x^2 - 18.77x - 1876.80 = 0 \quad x = 54 \text{ mm}$$

$$F_c = 2890 \cdot 54 = 156.06 \text{ kN}$$

$$F_{s1} = 135600 \frac{54 - 40}{54} = 35.16 \text{ kN}$$

$$M_r = F_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + F_s \left(\frac{h}{2} - d^1 \right) + F_{s1} \left(\frac{h}{2} - d^1 \right)$$

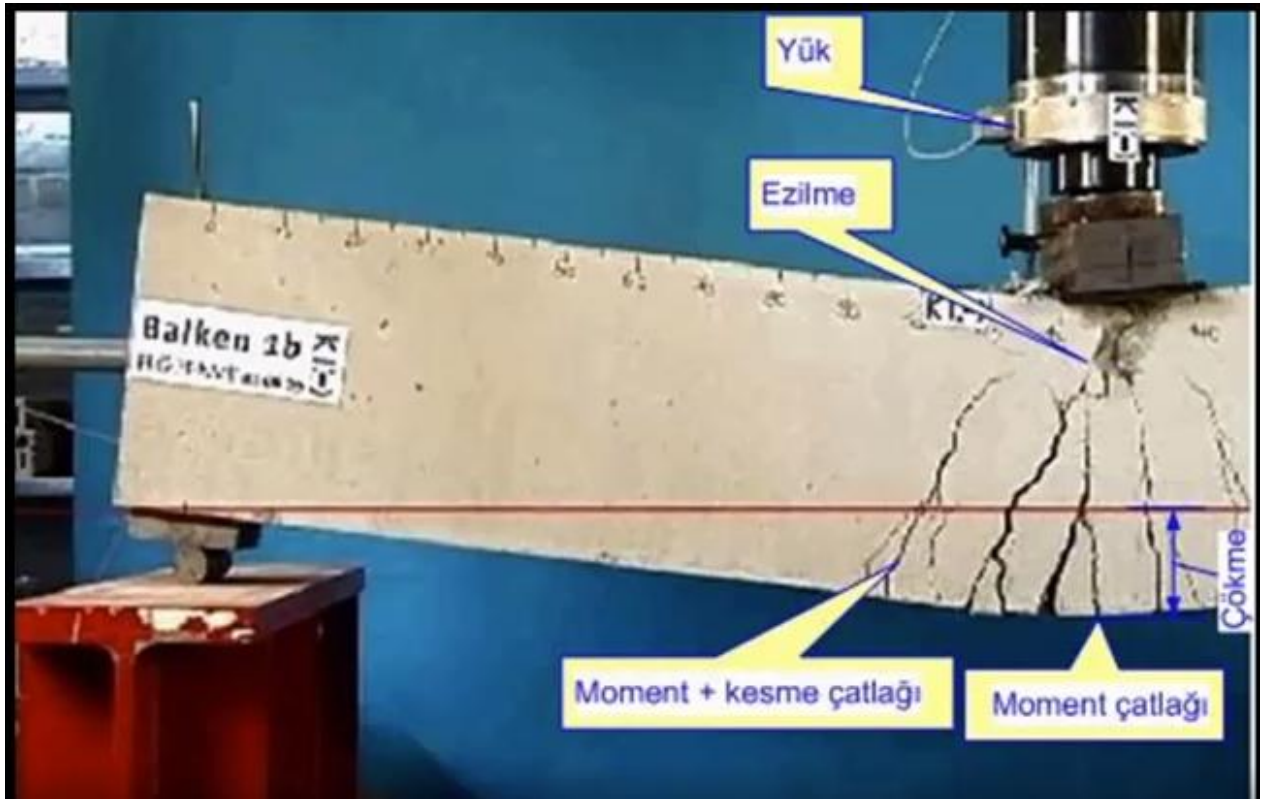
$$M_r = 156.06(150 - 27) + 35.16(150 - 40) + 189.84(150 - 40) = 43.95 \text{ kNm}$$

$$M = \frac{PL}{4} \quad P = \frac{4 * 43.95}{3.8} = 46.26 \text{ kN} = 4626 \text{ kg}$$

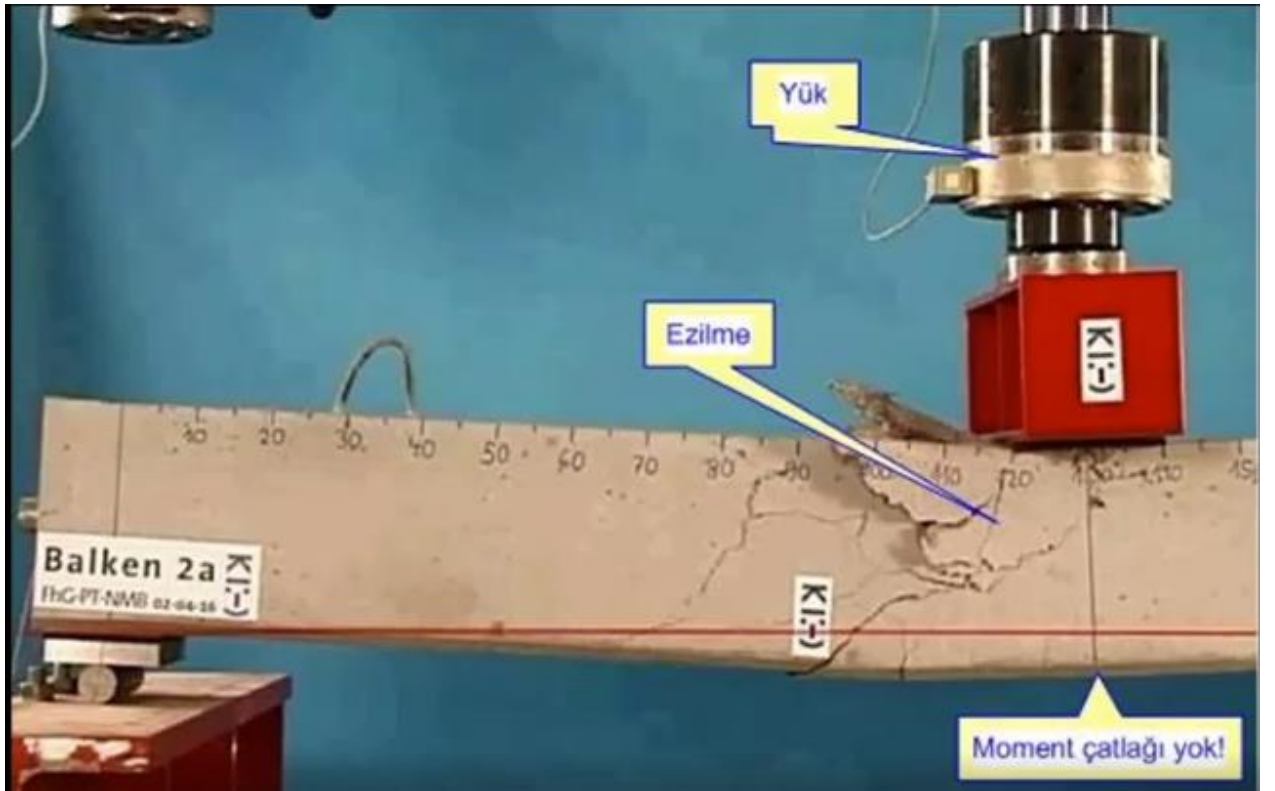
NOTLAR:

1. Raporlar el yazısı ile yazılacak. Fakat ilgili grafiklerin çiziminde bilgisayar çıktısı rapora eklenebilir.
2. Rapor teslim süresi deney yapıldıktan sonra bir haftadır.
3. Sonuçlar özgün olarak yorumlanacaktır
4. Deney esnasında her öğrencinin iş güvenliği ve sağlığı açısından yanında eldiven, önlük ve maske bulundurması zorunludur.

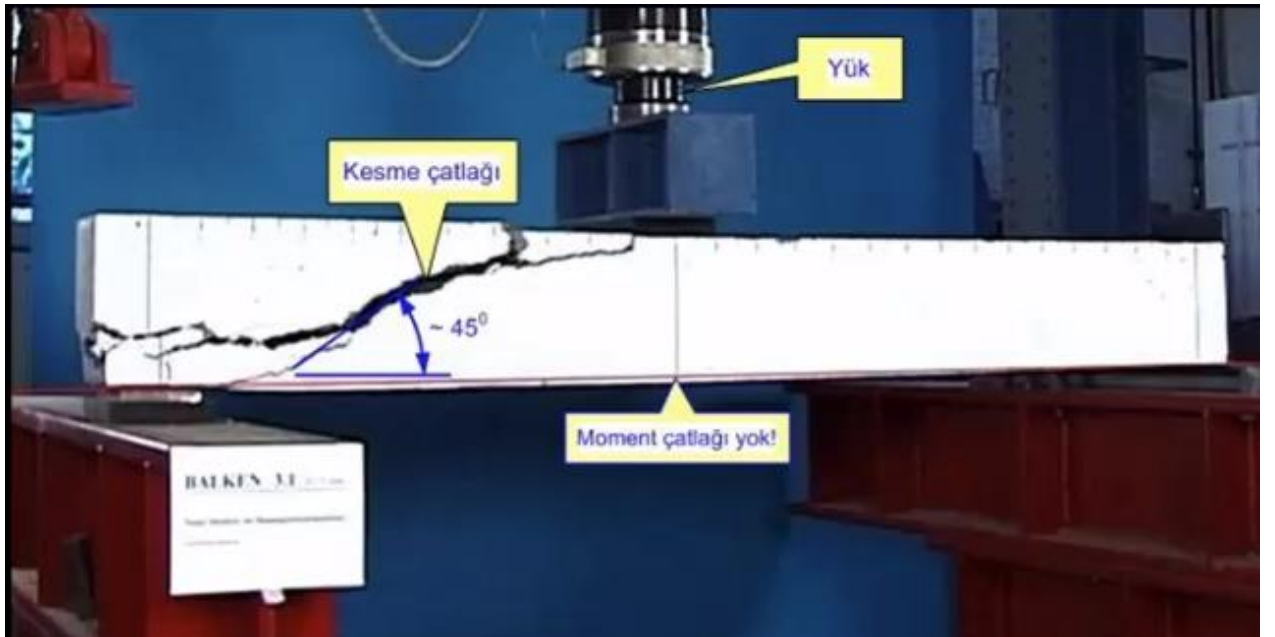
Deney sonucunda oluşacak çatlakların birer örneği aşağıda verilmiştir.



Çekme Kırılması



Basınç Kırılması



Kesme Kırılması

Deney Adı: Su Etkisine Karşı Dayanıklılık (Soyulma) Deneyi- Yumuşama Noktası Deneyi
Deneyin yapıldığı yer: Ulaştırma Laboratuvarı

Deneyin Amacı: Bir asfalt kaplamasının ömrü geniş ölçüde agreganın suyun etkisine karşı yapışma kabiliyetine bağlıdır. Bu deneyde, suyun ve trafiğin bir arada etkimesiyle bağlayıcı maddenin agregaya üzerinden ayrılma kapasitesi belirlenecektir.

Gerekli Cihazlar – Ekipmanlar :

- Etüv
- Beher
- Kum Banyosu
- Cam baget
- Petri kabı

Kullanılan Standartlar :

- TS EN 12697-11
- AASHTO 182
- ASTM D 1664
- KTŞ 98-274-1

Teorik Bilgiler: Soyulma; Suyun ve trafiğin bir arada etkimesiyle bağlayıcı maddenin agregaya üzerinden ayrılması demektir. Soyulma genelde satıh tipindeki kaplamalarda yüksek oranda gözükmemektedir. Suyun ve rutubetin kaplama içerisine nüfuz etmesi, kaplamanın hızlı bir şekilde bozulmasına neden olmaktadır. Kullanılan bitümün soyulmaya karşı dirençli olması gerekir. Bu direncin artırılması içinde asfalt betonunun içerisine farklı kimyasal maddeler katılarak yağmur ve kar yağışıyla oluşan rutubetin kaplama tarafından emilmesini engelleyerek kaplamanın donma ve çözülme dönüşümüne girmemesi sağlanır.

Deneyin Yapılışı: Deneye kırılmış agregaya numunesinin 4,75-9,5 mm ya da 3,35-4,75 mm'lik elekler arasında kalan kısımdan yaklaşık 200gr .alarak, iyice yıkayıp saf suyla birkaç kez çalkaladıktan sonra 110 °C'lik etüve konularak başlanır. Yıkılmış kurumuş agregadan 30 ± 0,5gr. alınarak 1 saat 110 °C 'lük etüvde bekletilir. Öte yandan 1,5 ± 0,1 gram bitümlü malzeme 250 cm³ beher içine konulur ve daha sonra 110 °C 'lik kum banyosuna yerleştirilerek ısıtılır. Bitümlü malzeme ve etüvde ısıtılmış agregaya behere dökülür ve bir cam bagetle agregaya tanelerinin üzeri üniform bir bitüm filmiyle kaplanıncaya kadar iyice karıştırılır.

Bundan sonra bitümlü agregaya beher içindeyken kür işlemini uygulamak için 24 saat 60 °C'lik etüvde tutulur. Bu surenin sonunda beher etüvden çıkarılıp,kum banyosunda hafifçe ısıtıldıktan sonra 10 cm çapında petri kabına aktarılır. Kaplanmış agregaların üzeri bagetle çok hafif darbelerle düzeltilir. 10 dakika laboratuvar sıcaklığında bekletilir; sonra petri kabı suyla

doldurulur ve üzeri bir camla kapatılarak yeniden 24 saat bekletilmek için 60 °C 'lik etüve konur. Bu sürenin sonunda petri kabı dışarıya alınarak suyu değiştirilir. Yandan gelen bir ışık altında karışımın özellikle üst yüzeyi gözle incelenir.

Soyulmaya Etki Eden Etkenler:

1. Asfalt kaplamasının aşırı derecede suyla teması.(doğu bölgelerinde kar suyunun soyulmaya büyük bir etkisi olmaktadır.)
2. Taşıt yükünün etkisi.
3. Yolun proje hızı.(fren yapma hızından kaynaklanan soyulmalar)
4. Bitüm ve agreganın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Soyulma Sonucu Oluşan Olumsuz Şartlar:

- Asfalt kaplamasının stabilitesi azalır.
- Konfor ve güvenlik derecesi düşer.
- Asfalt kaplamasından kopan parçalardan dolayı kaplamanın havayla teması artarak erken yaşlanmasına sebep olur.
- Asfalt kaplamasının ömrü azalır.

Bahsedilen olumsuzlukların oluşmaması için asfalt kaplamasının içerisinde bulunan bitümün olumsuz koşullara rağmen soyulmalara dirençli olması gerekir.

Sonuç: Deney sonunda soyulmamış sathın bütün satha oranı, soyulmaya karşı dayanıklılık olarak verilir. Asfalt kaplamasının içerisine konulan asfalt çimentosunun (bitüm) soyulma konusunda belirli standartlara uygun olması gerekir.

Örnek Deney Videosu : <https://youtu.be/PNGzCBy04wc>

Deney Adı: Yumuşama Noktası Deneyi

Deneyin yapıldığı yer: Ulaştırma Laboratuvarı

Yumuşama Noktası Deneyi

Bitümlü bağlayıcıların sıcaklık karşısındaki davranışları farklılıklar göstermektedir. Bütün bitümlü malzemelerin yumuşaması belli bir sıcaklıkta gerçekleşmez. 25 oC sıcaklıkta aynı penetrasyona sahip 2 bitümlü bağlayıcı numunesi farklı sıcaklıkta farklı özellikler gösterebilirler. Bu davranışları ölçmek için halka ve bilye metodu kullanılmaktadır.

Deneyin Amacı :

Bitümün sıcaklık karşısındaki davranışını, kıvamlılığını belirlemek amacı ile yapılan bir deneydir.

- Bitümün yumuşama noktası ile viskozite değeri doğru orantılıdır.

Cihazlar :

- Halka : Pirinçten yapılmış olup Şekil 3'te verilen boyutlara uygun olmalıdır.
- Bilye : Çapı (9,5 ±0,05 mm), kütlesi (3,5±0,05gr) olmalıdır.
- Kap : İç çapı 8,5 cm ve yüksekliği 12 cm'den küçük olmayan ısıya dayanıklı cam beher (600 veya 800 cm³'lük beherle bu deney için uygundur.)
- Termometre : 0,2 °C taksimatlı (-2/+80 °C) aralığında.

Kullanılan Standartlar :

- TS EN 1427
- AASHTO T 53-08
- ASTM D 36

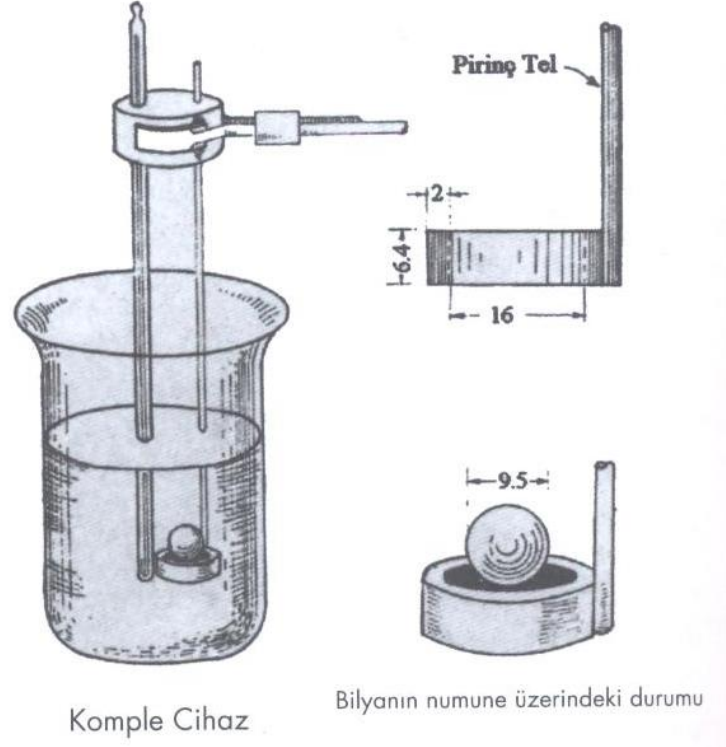
Numunenin Hazırlanması

Bitüm numunesi ısıtılarak akıcı hale getirilir ve içinde hava kabarcığı kalmayınca kadar karıştırılır. Bir pirinç levha üzerine yapışmayı önleyici bir madde (vazelin gibi) sürüldükten sonra halkalar levha üzerine konulur. İçinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde karıştırılan numune bu halka içine halkanın üst seviyesini geçecek şekilde dökülür. Numune 1 saat süre ile soğutulur ve halka üzerinde taşan bitüm numuneleri ısıtılmış spatula yardımıyla kesilip atılır.

Deneyin Yapılışı

Cam kaba 8,25 cm (3,25 inç)'lik yüksekliğe ulaşacak şekilde 5 °C'lik saf su konur. İçinde numune bulunan halka suyun içine sarkıtılır. Halkanın alt yüzü cam kabın dibinden 2,52 cm (1 inç) yukarıda, üst yüzey ise su seviyesinden 5,08 cm (2 inç) aşağıda bulunacak şekilde ayarlanır. Daha sonra bilye su dolu beher içine konulur. Termometre suya batırılır. Termometrenin cıva haznesinin altı halkanın alt yüzeyi ile aynı olacak seviyede ve halkaya yaklaşık 0,5 cm mesafede yerleştirilir. Ardından bilye alet yardımıyla beher tabanından alınarak halka üzerine numunenin ortasına yerleştirilir. Su sıcaklığı dakikada 5 °C artacak şekilde beher ısıtılmaya başlanır. Deneyin ilk 3 dakikadan sonraki en fazla 1 dakika aralıkta müsaade edilen sıcaklık yükselme

hızından sapma en fazla 0,5 °C olmalıdır. Halka içindeki bitümlü maddenin cam kabın dibine temas ettiği anda termometrede okunan sıcaklık yumuşama noktası değeridir. Yumuşama noktası tayini iki numune ile yapılır.



Şekil 3. Yumuşama Noktası Deney Aletleri

Yumuşama noktası 80 °C'den fazla, 150 °C'den az bitümler için su yerine gliserin kullanılır. Deneylerde 0.5 °C taksimatlı termometreler kullanılır. Deneyin başlangıç sıcaklığı 30±1 °C olmalıdır.

Yumuşama noktası 150 °C'den fazla olan bitümler için ise silikon esaslı yağ kullanılır. Deneylerde 0.5 °C taksimatlı termometreler kullanılır. Deneyin başlangıç sıcaklığı 100±1 °C olmalıdır.



Deney Adı: Kuyularda Girişim Deneyi
Deneyin Yapıldığı Yer: Hidrolik Laboratuvarı

KUYULARDA GİRİŞİM DENEYİ

Hidroloji yer küresinde (yeryüzünde, yeraltında ve atmosferde) suyun çevrimini, çevreyle ve canlılarla karşılıklı ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilimdir. Suyun kullanılması, miktar ve kalitesinin belirlenmesi amacı ile su kalitesinin geliştirilmesi çalışmalarında hidrolojinin büyük önemi vardır.

Yerküresindeki tatlı suyun büyük bir kısmı yeraltında bulunur. Yeraltındaki su, akarsularda bulunan suyun 7500 katı kadardır (Tablo 1, Tablo 2). Yeraltında ve yeryüzündeki suların sürekli ilişki halinde bulunmaları yeraltı suyunun önemini artırır. Özellikle kurak bölgelerde akarsular ancak yeraltından beslendikleri takdirde yazın kurumazlar. Akarsulardaki toplam akımın yaklaşık %30 u yeraltından beslenir. Yeryüzündeki bitkiler gerekli suyu yeryüzünün hemen altındaki zemin neminden sağlarlar. Kuyularla yeraltındaki hazneden çıkarılan su insanlar tarafından geniş ölçüde kullanılmaktadır. Yeraltından elde edilen suyun iyi bir özelliği de tabi bir şekilde filtrelenmiş olduğundan genellikle bakterilerden, organik maddelerden, koku ve tatlardan arınmış, kimyasal bileşimi ve sıcaklık derecesi fazla değişmeyen, iyi kalitede bir su olmasıdır. Yerüstü su kaynaklarının tükendiği kurak mevsimlerde insanlar su ihtiyacını kuyularla yeraltından sağlayabilirler. Bugün yeryüzünde kullanılan suyun %40 kadarı yeraltından sağlanmaktadır. Gelecekte yeni biriktirme hazneleri inşa etmek olanağının giderek azalacak olması, buna karşılık yeraltında büyük bir doğal hazne bulunması ve dengeleme süresinin uzun olması nedeniyle bu yüzdenin artması beklenebilir.

Bu deneyde kullanılacak sistem, hidrolojinin doğadaki uygulamasının küçük bir örneğidir. Burada yeraltısu akımının en önemli konularından biri olan kuyularda girişim olayının laboratuvar şartlarında denenmesi işlemi yapılacaktır.

TABLO 1. YER KÜRESİNİN SU KAYNAKLARI

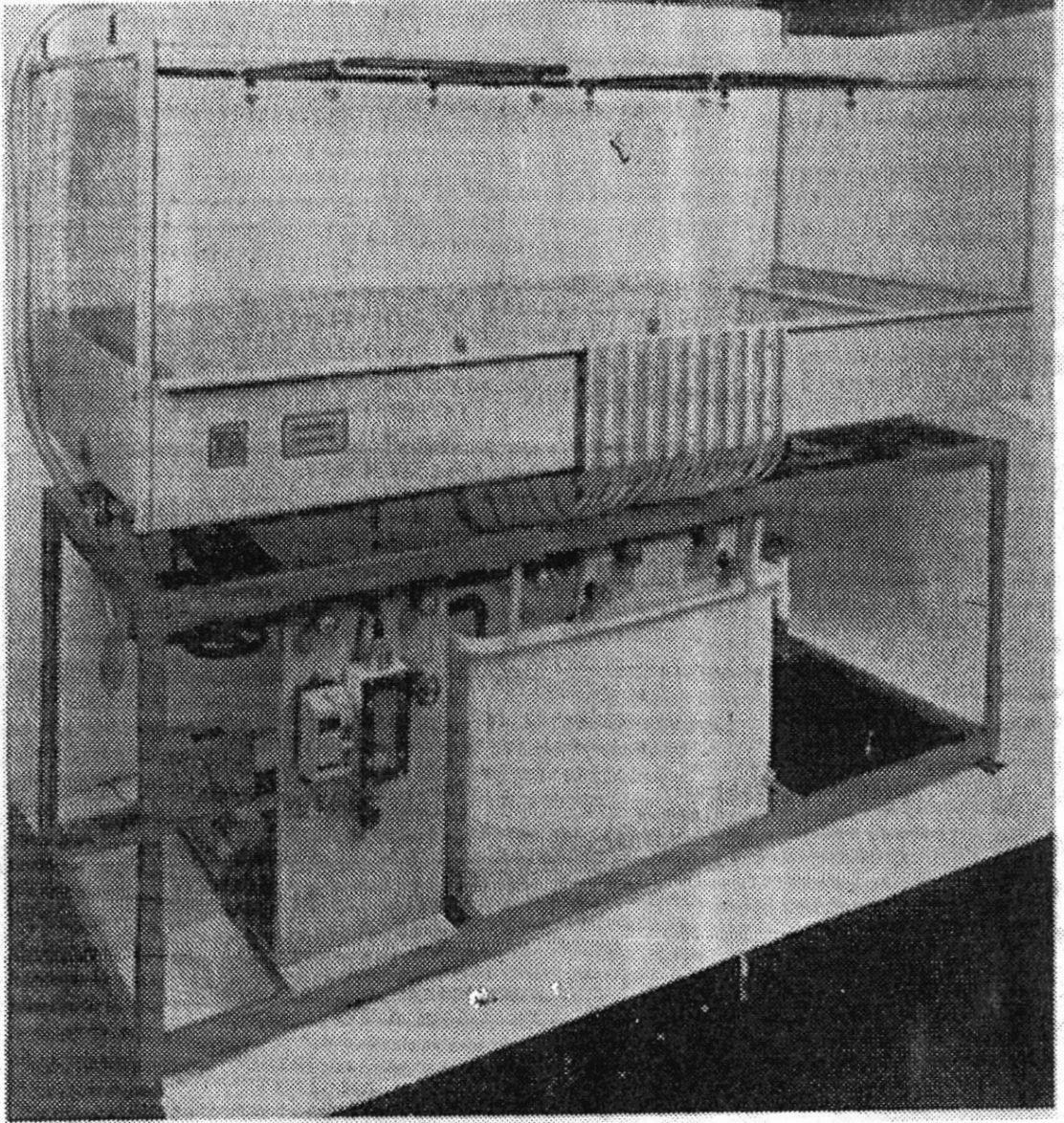
	Hacim(10^6km^3)	%
Denizler	1348	97,39
Buzullar	27,82	2,01
Yeraltı soyu	8,062	0,58
Göller, akarsular	0,225	0,02
Atmosfer	0,013	0,001
Toplam	1384,12	100

TABLO 2. YER KÜRESİNDE TATLI SUYUN DAGILIMI %

Buzullar	77,23
Yüzeye yakın yeraltı suyu	9,86
Derin yeraltı suyu	12,35
Zemin nemi	0,17
Göller	0,35
Akarsular	0,003
Canlılar	0,003
Atmosfer	0,04

DENEY SİSTEMİNİ TANITILMASI

Şekil 1' de deney düzeneğinin genel bir görünümü görülmektedir. Bu şematik gösterimin daha anlaşılır olabilmesi için Şekil 2 ve Şekil 3 verilmiştir.



Şekil 1. Cihazın genel görünümü

A, B, C, D, E - Vanalar

1- Pompa

2- Rotametre

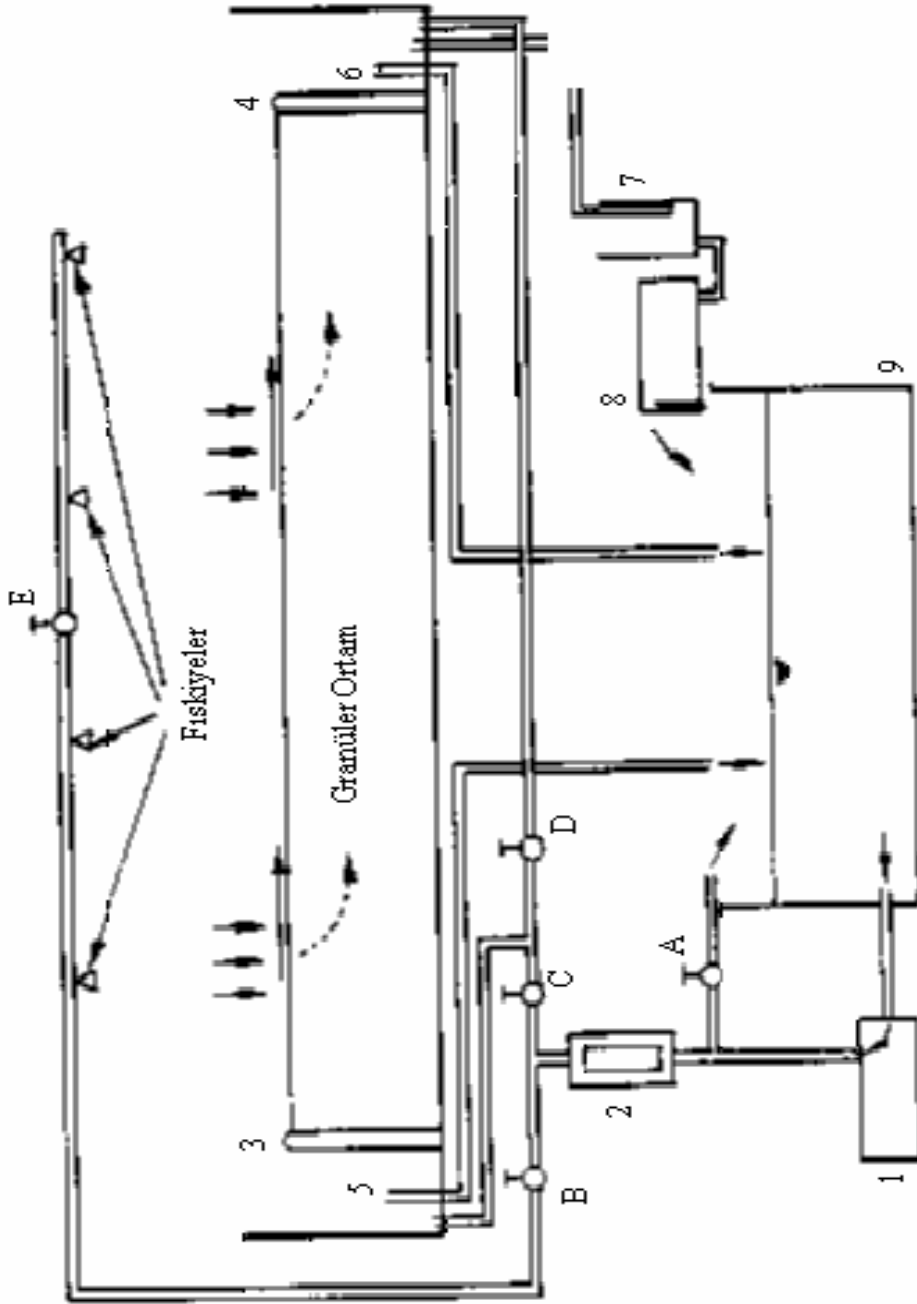
3, 4 Savaklar

5, 6- Ayarlanabilen taşkın akışı

7- Tübülanası düşüren bölüm

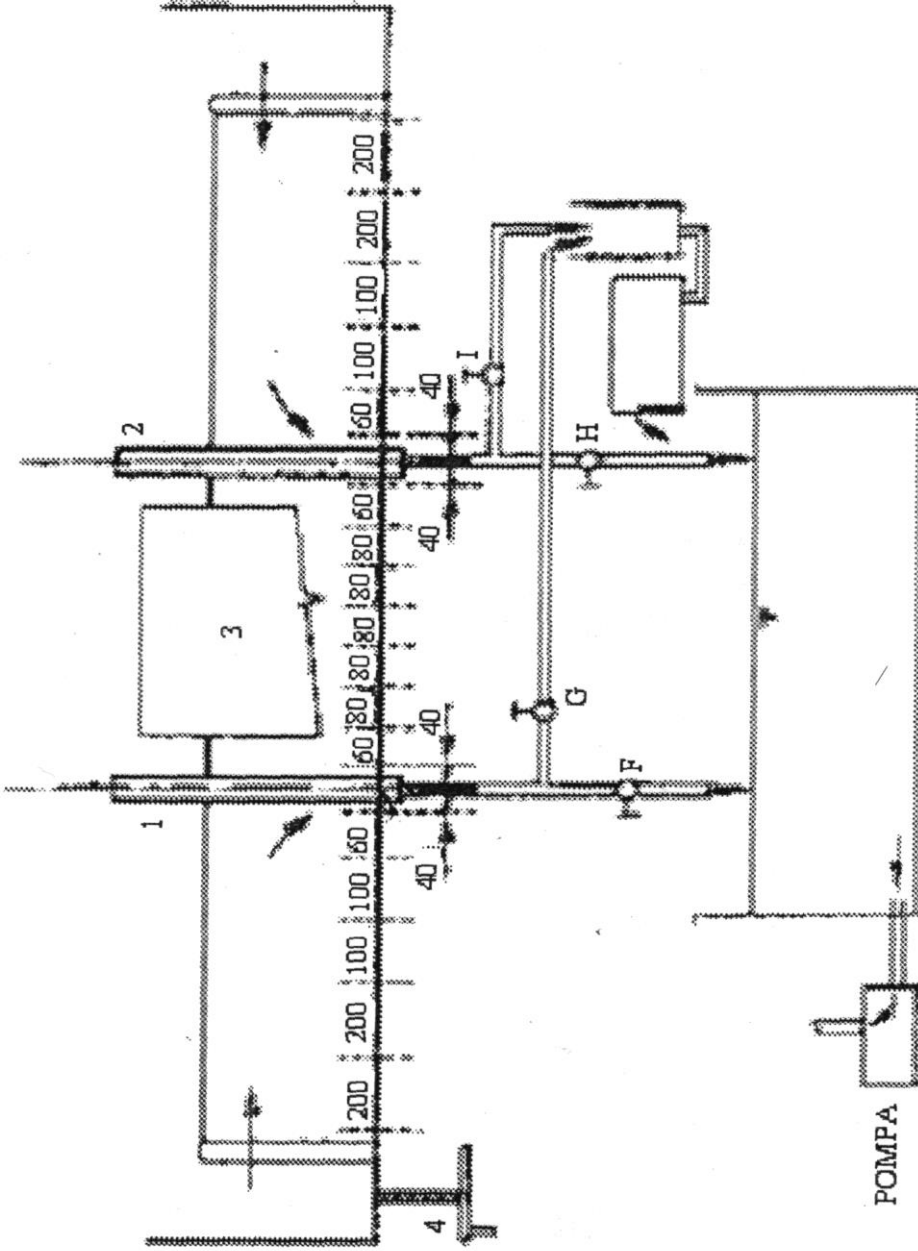
8- Keskin kenarlı savak

9- Depolama tankı

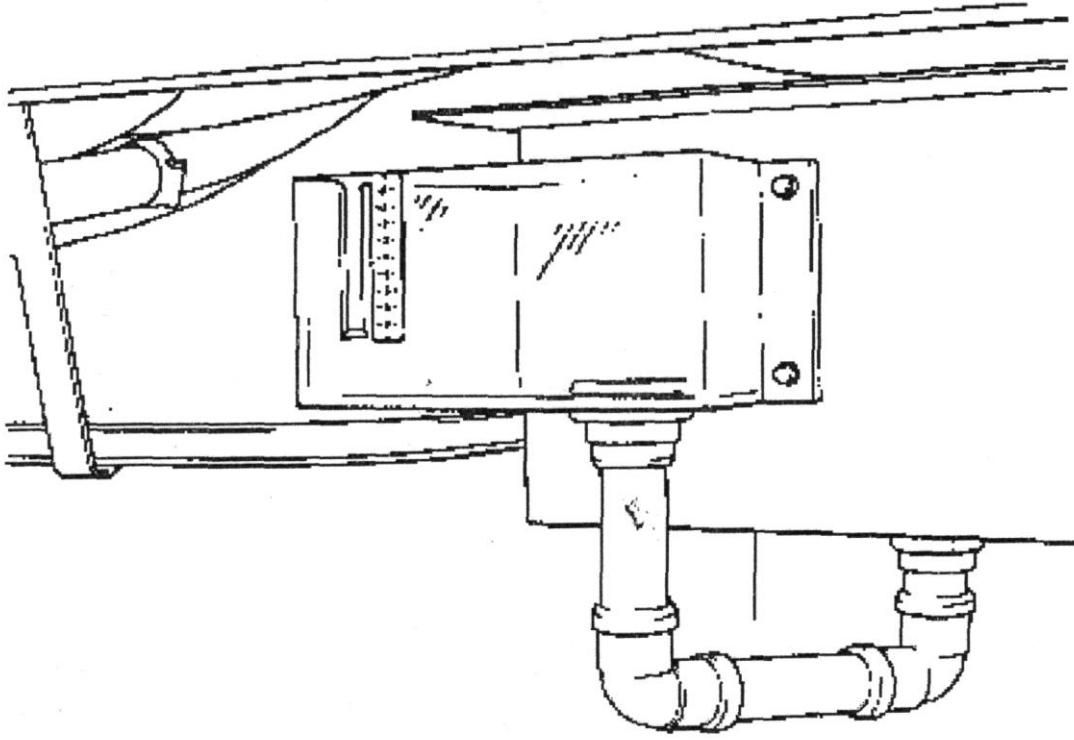


Şekil 2. Cihazın yandan görünümü

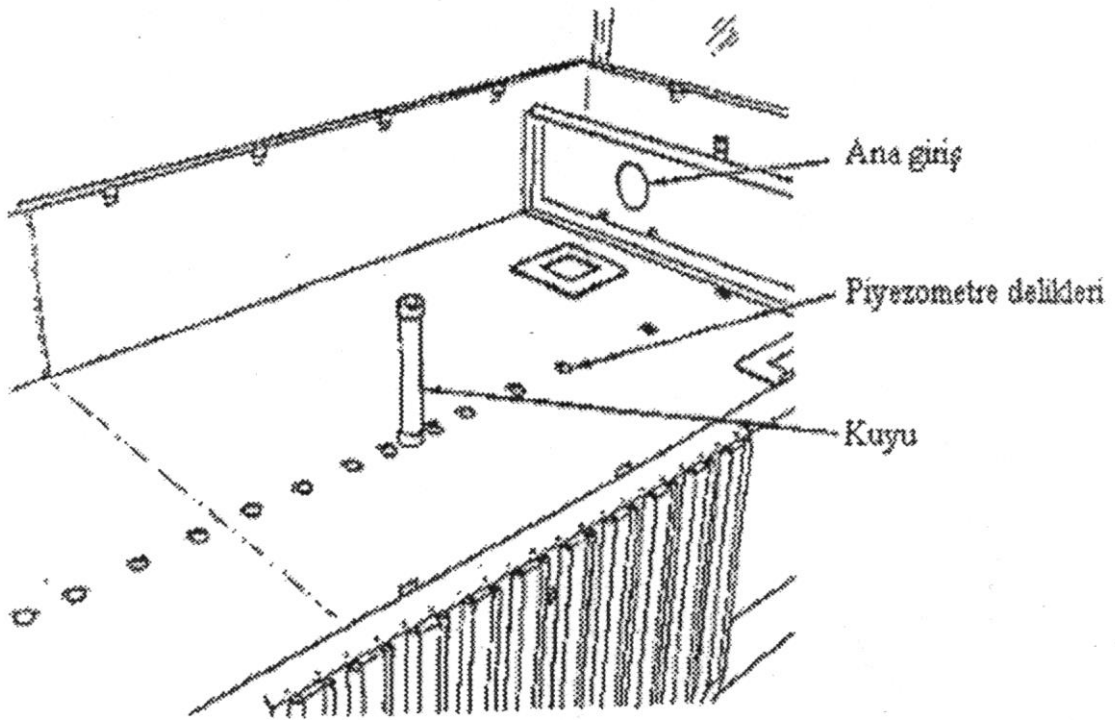
F, G, H, I- Vanalar
 1, 2- Kuyular ($\varnothing=19$ mm)
 ————— Piyezometreler
 ————— Piyezometreler arası boşluk
 3- 20 adet piyezometre tüpü
 4 Eğim mekanizması



Şekil 3. Cihaz üzerindeki kuyular ve piyezometreler



Şekil 4. Keskin kenarlı dikdörtgen savak



Şekil 5. Kuyu, piyezometreler ve ana giriş

Cihazda şayet B vanası kapalı ve C ve D vanaları açık ise, su rotametreten geçerek cihazın her iki tarafında bulunan savakların arkasındaki iç bölmeye ulaşır. Bu sistem normalde kuyu akışları ile birlikte kullanılmaktadır. Su, savakların ana girişleri (port holes) yardımıyla havzadaki granüler malzemeli ortama girer ve yeraltı su seviyesi her iki uçta bulunan ve su seviyesini yükseltip düşürebilen savaklar vasıtasıyla kontrol edilebilir. Böylece, su cihazda kuyular tarafından drene edilmektedir. Şayet kuyulardan çekilen debi ölçülmek isteniyor ise G ve I vanaları açılarak dikdörtgen savak vasıtasıyla su seviyesi okunabilir. Ancak kuyudan gelen su ölçülmek istenmiyorsa, o halde F ve H vanaları açık tutularak suyun direk olarak depoya drene edilmesi sağlanabilir. B ve D vanaları kapalı, C vanası açık iken, deney düzeneğinin sadece üst kısmındaki kenarına (membasına) su akacaktır. Bu durumda F, G, H ve I vanaları kapalı tutarsa (kuyular çalıştırılması), membadan mansaba doğru bir akış olacaktır. Bu akış, havzanın kenarındaki taşkın akışı boruları ile tanka veya ölçmek üzere keskin kenarlı savağa verilebilir. B, C, D, E, F ve H vanalarının açık olması durumunda, yağış sonrası oluşan sızma ve kuyudan su çekilmesi simule edilir. Bu, etrafı su ile çevrili bir ada durumuna karşı gelmektedir.

Model havza, 2 m uzunluğunda, 1 m genişliğinde ve 180 mm derinliğinde granüler malzemeden oluşmuştur.

Cihaz üzerinde bulunan dikdörtgen savağın Q-h standart kalibrasyon eğrileri normal olarak Şekil 9.6 da verilmişlerdir. Logaritmik savak kalibrasyonunda debinin (Q), savak yükü (h) ile arasında $Q \propto h^{1.5}$ şeklinde bir ilişki olduğu görülebilir.

DENEYİN YAPILIŞI

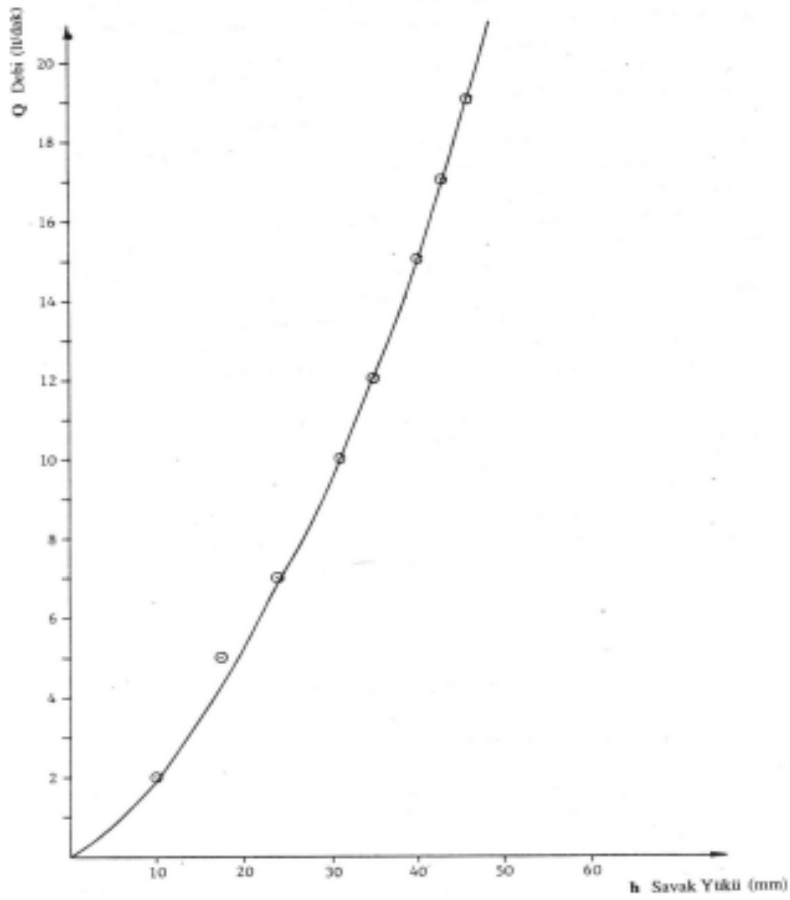
Kuyuya gelen akımın ölçümlerinin yapılabilmesi için deney cihazını tam yatay hale getirmek gerekir. Ayrıca sistemin her iki ucunda bulunan kapaklar havzaya su girişini sağlayacak şekilde kaldırılmalıdır. Havzanın her iki ucunda bulunan ayarlanabilir savaklar, kum içerisinde su seviyesini kontrol edecek biçimde uygun bir seviyeye (genellikle kum üst seviyesinin biraz altında) ayarlanmalıdır. Bundan sonra B vanası kapatılır ve A, C ve D vanaları açılır. Tek bir kuyu ile çalışılıyorsa G ve F vanaları da kapatılmalıdır. Sonra I vanası açıldığı takdirde havzadan gelen su tek bir kuyu vasıtasıyla deşarj edilecektir. Deşarj edilen su dikdörtgen savak vasıtasıyla ölçülebilir.

Pompa çalıştırılır, yukarıda anlatıldığı gibi akım oluşmaya başlar. Piyezometreler vasıtasıyla kuyu etrafındaki su seviyeleri okunabilir. Bu su seviyeleri zamanla sabit bir değere ulaşacaktır. Bu durum dengeli akımın oluştuğunu gösterecektir. Bu durumda dikdörtgen savaktan geçen su seviyesi, dolayısıyla kuyudan çekilen debi değeri belirlenmiş olacaktır. Ayrıca 20 adet olan piyezometre tüplerinden su seviyeleri ayrı ayrı okunarak Tablo 9.2 oluşturulmalıdır. Bu tabloda bulunan hesaplanmış su yükseklikleri ise dengeli akım halinde tek kuyu için kullanılan aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanarak yazılacaktır. Bu formül;

$$Q = \pi K(h_2^2 - h_1^2) / \ln(r_2/r_1)$$

şeklindedir. Burada Q, kuyudan çekilen debiyi, h_2 havzadaki sabit su yüksekliğini, h_1 ölçümün yapıldığı yerdeki su seviyesini göstermektedir. Ayrıca r_1 ve r_2 değerleri de piyezometrelerin konumlarını göstermektedir.

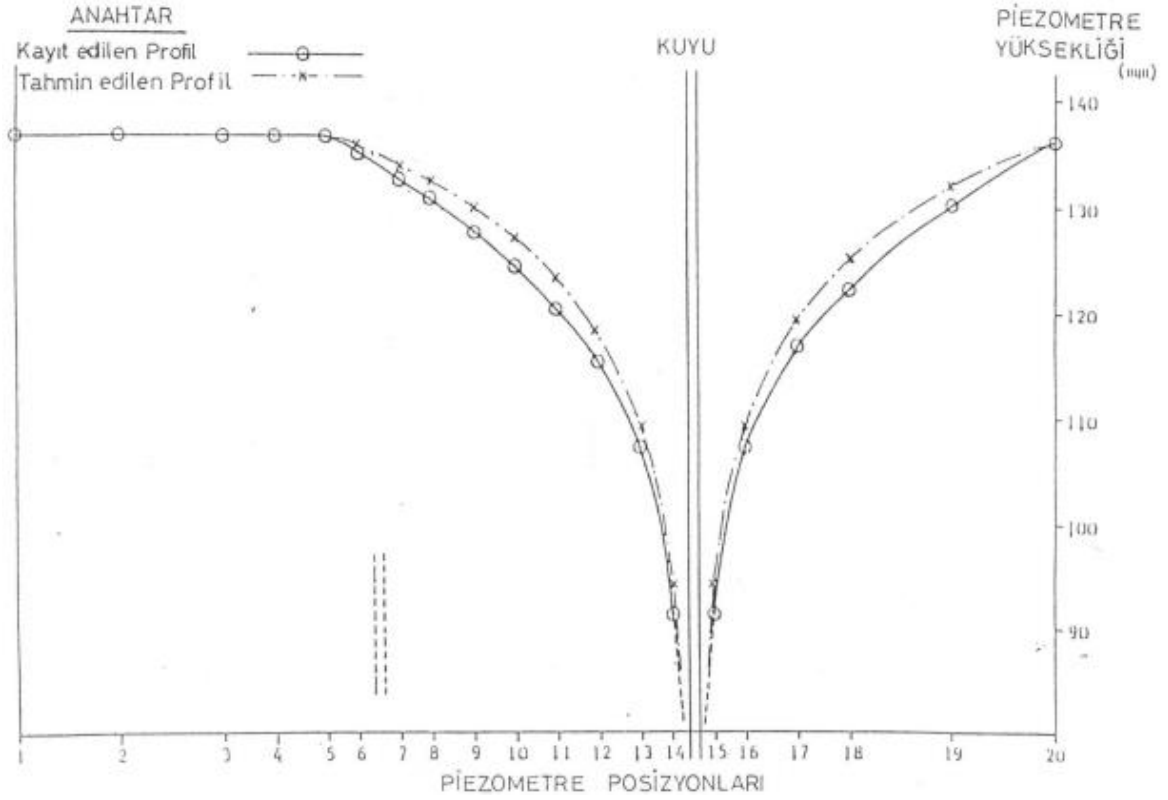
Yukarıdaki formül yardımıyla öncelikle kumun permeabilitesi belirlenmelidir. Daha sonra ise bulunan permeabilite değeri yardımıyla okunan piyezometre seviyelerine karşı hesaplanan su yükseklikleri yine yukarıdaki formül yardımıyla belirlenecektir. Okunan piyezometre seviyeleri tabloda ilgili sütunda verilmiştir. Hesaplanan su yükseklikleri sütununu her bir piyezometre için hesaplayarak doldurunuz. Bütün ölçülen ve hesaplanan değerler grafik üzerinde gösterilecektir. Ayrıca çift kuyu çalıştırılması durumunda gözlemlenen su seviyeleride aynı grafik üzerinde gösterilerek tek ve çift kuyu çalışması durumun için gerçekleşen düşümler yeraltı su seviyesi durumları gibi yorumlar yapılacaktır.



Şekil 9.6 Tipik savak kalibrasyonu

Tablo 3: Gözlenen yeraltı suyu seviyeleri

Piyezometre No.	1.Kuyudan Uzaklık (mm)	2.Kuyudan uzaklık (mm)	Gözlenen Su Yüksekliği (mm) (Tek kuyu çalışırken)	Hesaplanan Su Yüksekliği (mm) (Tek Kuyu)	Gözlenen Su Yüksekliği (mm) (İki kuyu çalışırken)
1	1300		89		76
2	1100		82		73
3	900		72		61
4	800		66		53
5	700		59		47
6	640		47		39
7	560		47		39
8	500		59		44
9	420		65		49
10	340		71		50
11	260		74		51
12	180		79		49
13	100		82		43
14	40		85		39
15	40		88		39
16	100		90		47
17	200		93		55
18	300		98		62
19	500		107		71
20	700		113		75



Şekil 7 Örnek çizim

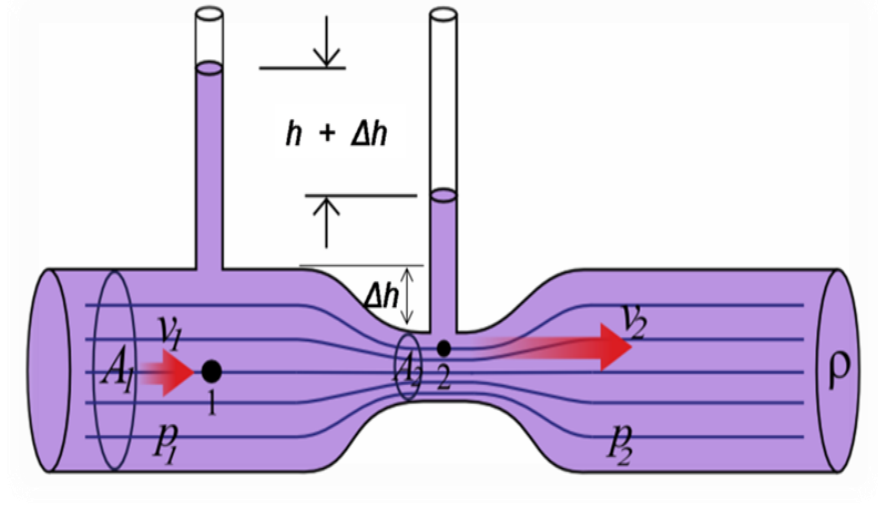
Örnek olarak tek kuyu için hesaplanan ve ölçülen değer grafiği çizilmiştir. Eldeki verilerle şekil 7. ye benzer bir grafik çizilecek ve ayrıca çift kuyu değerleri de aynı tabloda gösterilecektir.

Şekil 3 göz önünde bulundurularak tablodaki 3. Sütün doldurulacaktır.

Grafik çiziminde piyezometreler arasındaki mesafeler şekil 3 te verilen değerlere uygun olarak ölçekli olarak çizilecektir.

Deney Adı: Venturimetre Deneyi

Deneyin yapıldığı yer: Hidrolik Laboratuvarı



VENTURİMETRE DENEYİ

İş güvenliği açısından gerekli Malzemeler

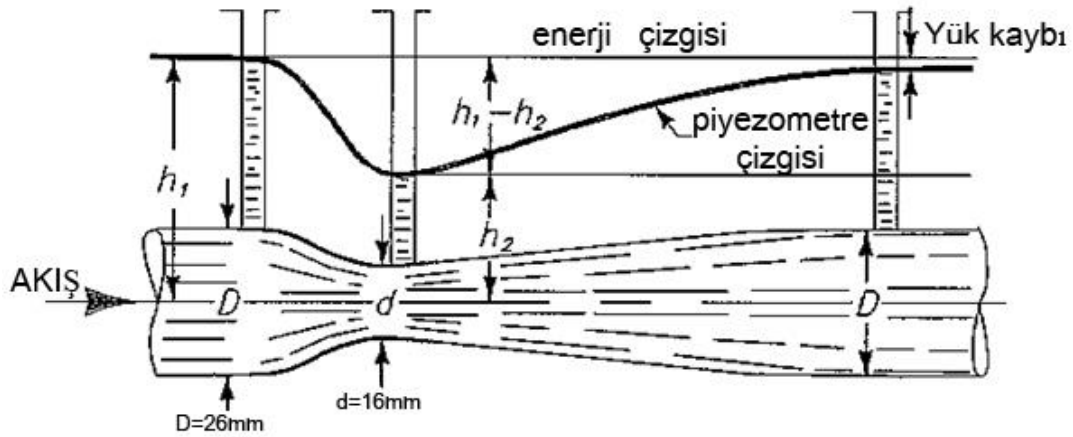
- Laboratuvar önlüğü

1. Giriş

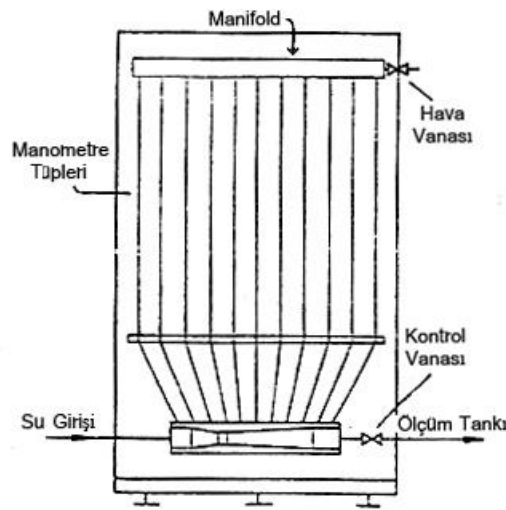
Venturimetre cihazı, bir boru içinden geçen debinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Adını fizikçi Giovanni Battista Venturi'den alır.

Tüpün incelerek boğaz oluşturan en dar kesitli kısmında akışkan hızı en büyük değerini alırken akışkan basıncı düşer ve tüpün geniş kesitli kısmı ile dar kesitli kısmı arasında bir basınç farkı oluşur. Bu basınç farkı venturimetrenin giriş ve çıkışına bağlanmış "Kapalı manometre" yardımıyla ölçülür. Bu ölçüm sonucu elde edilen basınç değerleri yardımıyla tüp içinden geçen akışkanın debisi tespit edilir.

2. Deney Sistemi



Şekil 1. Venturimetre Genel Görünüm

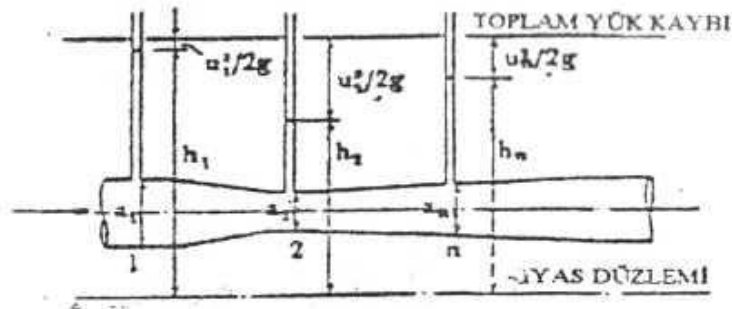


Şekil 2. Venturimetre Şematik Gösterimi

Şekil 2'de venturimetre şematik olarak görülmektedir. Venturi boyunca çeşitli noktalarda piyezometre tüpleri manometre tüplerine bağlanmıştır. Herhangi iki noktada yapılan ölçüm

Not: Venturimetre deneyine iştirak eden öğrenci modelleme, kütle, kütlenin korunumu, debi, enerjinin korunumu, Bernoulli yasası, Toriçelli deneyi ve en küçük kareler metodu hakkında ön bilgi sahibi olmalıdır.

debiyi belirlemek için yeterlidir. Bu deneyde giriş ve en dar boğazdaki basınç değerleri kullanılacaktır.



Şekil 3. Bir venturimetrede ideal şartlar

3. Venturimetre Teorisi

Şekil 3'de, bir noktada daralıp genişleyen boru boyunca sıkışamaz akışkanın akışı görülmektedir. Mansap bölgesindeki 1. kesitin alanı a_1 , boğaz bölgesindeki 2. kesitin alanı a_2 ve herhangi bir başka kesitteki n. kesit alanı a_n 'dir Bu kesitlerdeki piyezometre yükleri h_1, h_2 ve h_n 'dir.

Boru boyunca enerji kaybı olmadığı ve her bir kesitteki hız ve piyezometre yüklerinin sabit olduğu kabul edilirse, Bernoulli teoremi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{V_2^2}{2g} + h_2 = \frac{V_n^2}{2g} + h_n \quad (1.1)$$

burada V_1, V_2 ve V_n ; 1, 2 ve n kesitleri içindeki akış hızlarıdır. Süreklilik denklemi aşağıdaki gibi yazılır:

$$V_1 a_1 = V_2 a_2 = V_n a_n = Q \quad (1.2)$$

burada Q debiyi göstermektedir. Denklem (1.2)'deki $V_1 = \frac{V_2 \cdot A_2}{A_1}$ değeri denklem (1.1)'de yerine konulursa,

$$\frac{V_2^2}{2g} \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^2 + h_1 = \frac{V_2^2}{2g} + h_2$$

ifadesi elde edilir. V_2 için bu denklemin çözümünden:

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^2}}$$

elde edilir. Böylece denklem (1.2)'den debiyi şu şekilde yazabiliriz:

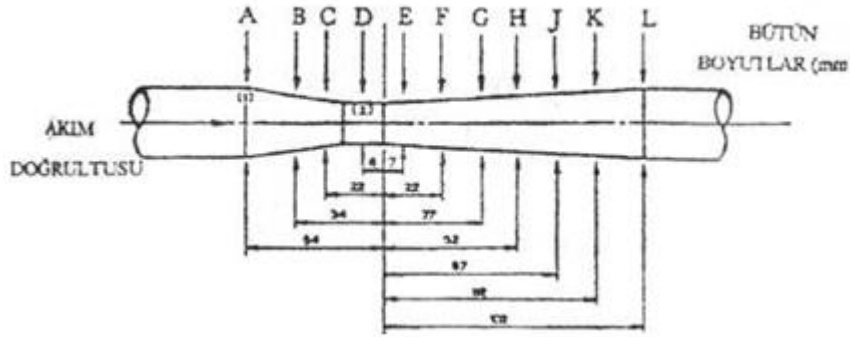
$$Q_{teorik} = a_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^2}} \quad (1.3)$$

Pratikte 1 ve 2 kesitleri arasında bir miktar kayıp söz konusudur ve hız her iki kesitte de sabit değildir. Sonuç olarak debinin ölçülen değerleri genellikle denklem (1.3)'teki değerinden biraz daha küçüktür ve bu farklılık

$$Q_{reel} = C \cdot a_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2}} \quad (1.4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada C deneyle elde edilen venturi debi katsayısıdır.

Akış debisi hacim/zaman esaslı ile ölçülür. Bu işlem devam ederken h_1 ve h_2 değerleri göstergeden okunur. $(h_1 - h_2)$ 'nin her değeri için uygun akış debisi ölçülmelidir. Ayarlanan tüm piyezometre tüplerinin okumaları yapılarak venturimetre boyunca basınç dağılımı belirlenir. Sayacın çapları ve piyezometre musluklarının durumları Şekil 4'de gösterilmiştir.



No:	A(1)	B	C	D(2)	E	F	G	H	J	K	L
Çap(mm):	26.00	23.20	18.40	16.00	16.80	18.47	20.16	21.84	23.53	25.24	26.00

Şekil 4. Piyezometre tüplerinin ve venturimetrenin durumu

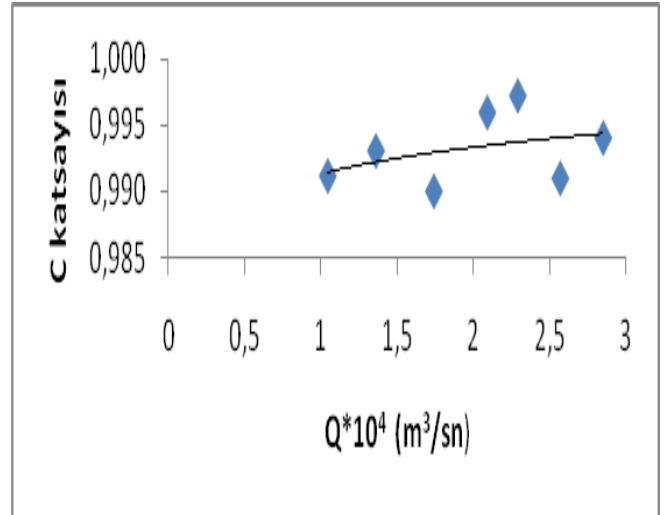
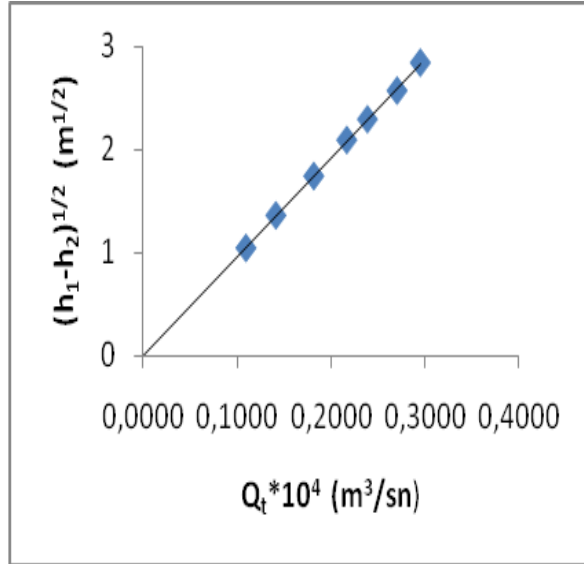
4. Venturimetre Katsayısının Hesaplanması (C)

Tablo 1 hazırlanarak venturimetre debi katsayısı bulunur. Bu sonuçlardan yararlanılarak Q ile $(h_1 - h_2)^{1/2}$ 'nin ve Q ile C'nin değişimleri iki ayrı grafik üzerinde çizilir.

Tablo 1. Münferit deney sonuçları

D.No	h_1 (mm)	h_2 (mm)	$h_1 - h_2$ (m)	$(h_1 - h_2)^{1/2}$ (m) ^{1/2}	$Q_t \times 10^{-4}$ (m ³ /s)	Hacim (m ³)	Zaman (sn)	$Q_r \times 10^{-4}$ (m ³ /s)	C
1	172	160	0,012	0,1095	1,045	0,025	243,5	1,0357	0,991
2	163	143	0,020	0,1414	1,360	0,025	184	1,3505	0,993
3	153	120	0,033	0,1817	1,740	0,015	87	1,7225	0,990
4	142	95	0,047	0,2168	2,090	0,015	72	2,0815	0,996
5	131	74	0,057	0,2387	2,290	0,015	68	2,2836	0,997
6	119	46	0,073	0,2702	2,567	0,015	59	2,5445	0,991
7	103	22	0,087	0,2950	2,837	0,15	52	2,8319	0,994

Deney No:	Q_{teorik}											Q_{reel}	
	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)	h_4 (mm)	h_5 (mm)	h_6 (mm)	h_7 (mm)	h_8 (mm)	h_9 (mm)	h_{10} (mm)	h_{11} (mm)	Tank Hacmi (lt)	Zaman (sn)
1													
2													
3													
4													
5													
6													



Şekil 1. Kohezyonlu zeminlerde hacim-su ilişkisi ve kıvam limitleri

1. Likit Limit

Zeminin sıvı gibi davranmaya başladığı minimum su muhtevasıdır. Bunun belirlenmesinde iki metot kullanılmaktadır

- a. Konik penetrometre metodu
- b. Casagrande Metodu

• Konik Penetrometre Metodu

Konik penetrometre yönteminde amaç; belli ağırlıktaki bir konik ucun 5 sn süreyle bir kap içine doldurulmuş zemine batma miktarını ölçerek farklı su içerikleri için su içeriği-batma miktarı ilişkisinden likit limiti belirlemektir.

Araç Ve Gereçler

1. Penetrometre deney aleti
2. Spatula
3. Konik uç: Paslanmaz çelik 35 mm boylu, yüzeyi cilalı, tepe açısı $30^{\circ} \pm 1^{\circ}$ olan, (Koninin üst shaft ve mikrometre ile kütlesi $80,00 \text{ g} \pm 0,05 \text{ g}$ olacaktır)
4. Metal kap
5. Porselen pota
6. Desikatör
7. Çelik cetvel
8. Etüv
9. Tartı

Deneyin Yapılışı

1. 40 no'lu elek altına geçen malzeme iyice karıştırılarak 250 gr alınır. Bu malzeme üzerine damıtık su eklenerek macun kıvamına gelinceye kadar porselen potada spatula ile karıştırılır.
 2. Hazırlanan numune metal deney kabına sıkıca, içinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde yerleştirildikten sonra yüzeyi çelik cetvelle tesviye edilir ve penetrometre tabanına koyulur.
 3. Koni zeminin yüzünü belirsizce çizecek düzeye indirilir ve mikrometre sıfır okuması alınır. Sonra düğmeye 5 ± 1 saniye süreyle basılır. Süre sonunda son mikrometre okuması yapılır. İki okuma arasındaki fark koni penetrasyonudur.
 4. Koni kaldırılıp dikkatle temizlenir. 10g kadar bir su muhtevası örneği koni deliği civarından alınır ve su içeriği bulunur.
 5. Yukarıdaki işlemler numuneye su eklenerek en az üç kez daha değişik su içeriklerinde yapılır. Bu su içerikleri penetrasyon değerlerinin 15 ile 25 mm arasında değişeceği biçimde ayarlanmalıdır. Kural olarak deney kurudan ıslak karışıma doğru yürütülür ve koniyle deney kabı her denemeden sonra temizlenir. Saptanan her batma miktarı için su içeriği belirlenmesi yapılır.
- Batma miktarları ve bunlara karşılık gelen su içeriği değerlerinden akış eğrisi çizilir. Akış eğrisi numunenin belli bir su içeriği ve buna karşılık gelen batma miktarı arasındaki bağıntıyı gösteren bir egridir. Akış eğrisinde 20 mm ye karşılık gelen su içeriği değeri, o zeminin likit limitidir.



İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUARI

LİKİT LİMİTİN BELİRLENMESİ (STATİK KONİ PENETRASYON YÖNTEMİ)

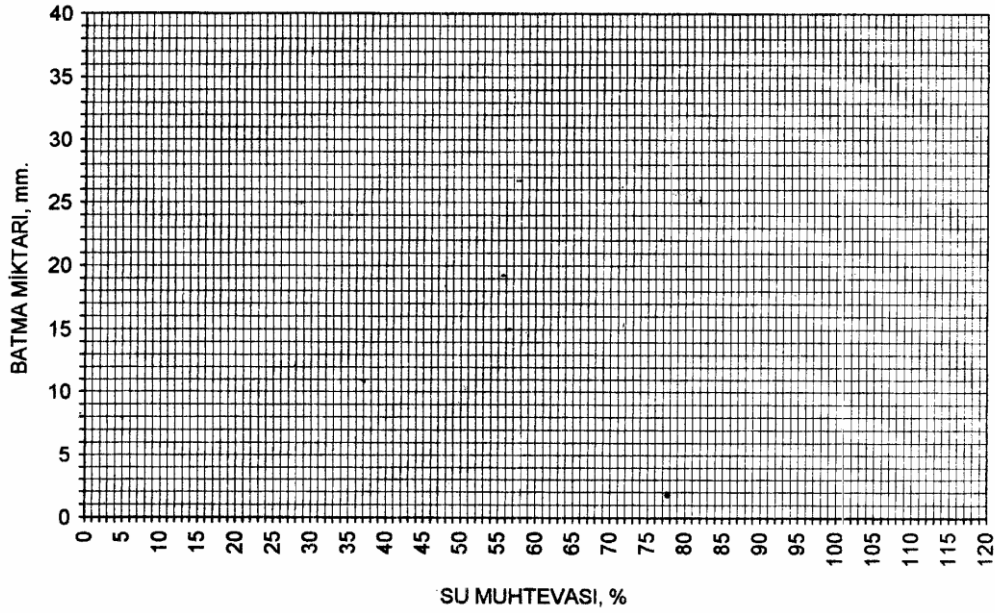
Numunenin Geldiği Yer:

Derinlik :

Sondaj No. :

Numune No. :

Kap No.					
Batma Miktarı (mm)					
Islak Num+Dara					
Kuru Num+Dara					
Su Miktarı					
Dara					
Kuru Zemin					
Su Muhtevası (%)					



Likit Limit (%)=

Deney Tarihi :

Deneyi Yapan:

• Casagrande Metodu

Araç Ve Gereçler

1. Casagrande Likit limit aleti
2. Oluk açma bıçağı
3. Terazî (0,01 gr duyarlılıkta)
4. Etüv
5. Desikatör
6. Rutubet kapları
7. Porselen pota
8. Spatula

Deneyin Yapılışı

1. 40 no'lu elek altına geçen malzeme iyice karıştırılarak 100 gr alınır.
 2. Bu malzeme üzerine damıtık su eklenerek macun kıvamına gelinceye kadar porselen potada Spatula ile karıştırılır.
 3. Hazırlanan bu macun kıvamındaki zeminden bir parça alınarak likit limit aletinin yarım küre içerisine en derin kısmı 1 cm olacak şekilde sıvanır.
 4. Oluk açma bıçağı kullanılarak zemin belirgin bir biçimde iki eşit kısma bölünür. Bu işlem sırasında oluk açma bıçağı, değme noktasında küre kapağına dik tutulmalıdır.
 5. Saniyede iki dönme yapacak hızda yatay kol döndürülerek zeminin ayırık ki parçasının 1 cm boyunca birleşmesini sağlayacak darbe sayısı saptanır. Oluk tabanındaki kapanma, zeminin kayması şeklinde değil. akarak kapanması şeklinde olmalıdır.
 6. Su içeriğı belirlenmesi için, kapanan bölgeden yaklaşık 10 gr numune alınır.
 7. Küre kapağında kalan malzeme porselen pota içerisine alınır. Su içeriğı değiştirilerek yeni darbe sayısı saptanır Bu işlemlere 10-40 arasında en az 4 darbe sayısı saptanıncaya kadar devam edilir. Saptanan her darbe sayısı için su içeriğı belirlenmesi yapılır.
- Darbe sayıları ve bunlara karşılık gelen su içeriğı değerlerinden akış eğrisi çizilir. Akış eğrisi numunenin belli bir su içeriğı ve buna karşılık gelen darbe sayısı arasındaki bağıntıyı gösteren yarı logaritmik bir eğridir. Akış eğrisinde 25 darbeye karşılık gelen su içeriğı değeri, o zeminin likit limitidir.



İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUARI

LİKİT LİMİTİN BELİRLENMESİ (CASAGRANDE METODU)

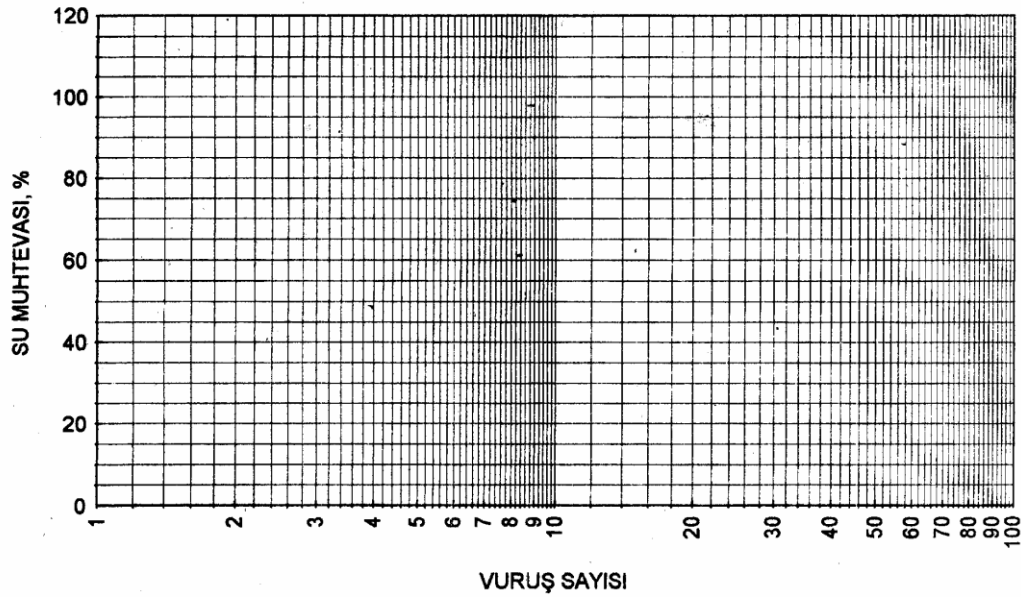
Numunenin Geldiği Yer:

Derinlik :

Sondaj No. :

Numune No. :

Kap No.					
Vuruş Sayısı					
Islak Num+Dara					
Kuru Num+Dara					
Su Miktarı					
Dara					
Kuru Zemin					
Su Muhtevası (%)					



Likit Limit (%)=

Deney Tarihi :

Deneyi Yapan:

İmza :

2. Plastik Limit

Bir zeminin plastik limiti, 3 mm çapında silindir çubuk biçiminde yuvarlandıklarında, çubukların yüzeyinde çatlamalar ve kopmalar olduğu andaki su içeriğidir. Plastik ve yarı katı durumları birbirinden ayırır.

Araç Ve Gereçler

1. Terazı (0,01 gr duyarlılıkta)
2. Porselen kap
3. Rutubet kapları
4. Cam plaka
5. Spatula

Deneyin Yapılışı

Likit limit deneyi için hazırlanan numuneden yaklaşık 15 gr alınır. Alınan malzeme porselen kapta el ile yoğrulduğunda yapışmayacak, ancak kolayca yuvarlanabilecek kütle elde edilmesini sağlayacak arı su ile yoğrulur. Bu kıvamdaki malzeme cam plaka üzerine konarak el ayası ile yuvarlanır. Bu işlem yapılırken 3 mm çapında çubuklar elde edebilmek için yeterince bastırılır. Çubuklar üzerinde çap 3 mm olduğunda yüzeyde çatlamalar olmaz ise malzeme toplanır. Toprak haline getirilip yoğrulur ve işlem tekrarlanır. Bu yoğurma ve yuvarlama işlemine, 3 mm çapındaki çubuğun çatlayıp birkaç parçaya ayrılıncaya kadar devam edilir. Ufalanın ubuk parçaları su içeriği belirlenmesi için numune kaplarına alınır ve tartılır. Bu işlemler 3 kere numune olacak şekilde tekrarlanır. Bulunan bu 3 su içeriği ortalaması zeminin plastik limitidir.



İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUARI

PLASTİK LİMİTİN BELİRLENMESİ

Numunenin Geldiği Yer:

Derinlik :
Sondaj No. :
Numune No. :

Deney No	Kap Ağırlığı (W ₁)	Yaş Numune+Cam Kap Ağırlığı (W ₂)	Kuru Numune+ Cam Kap Ağırlığı (W ₃)	Plastik Limit w _P , %
1				
2				
3				
PLASTİK LİMİT, w _P (%)=				

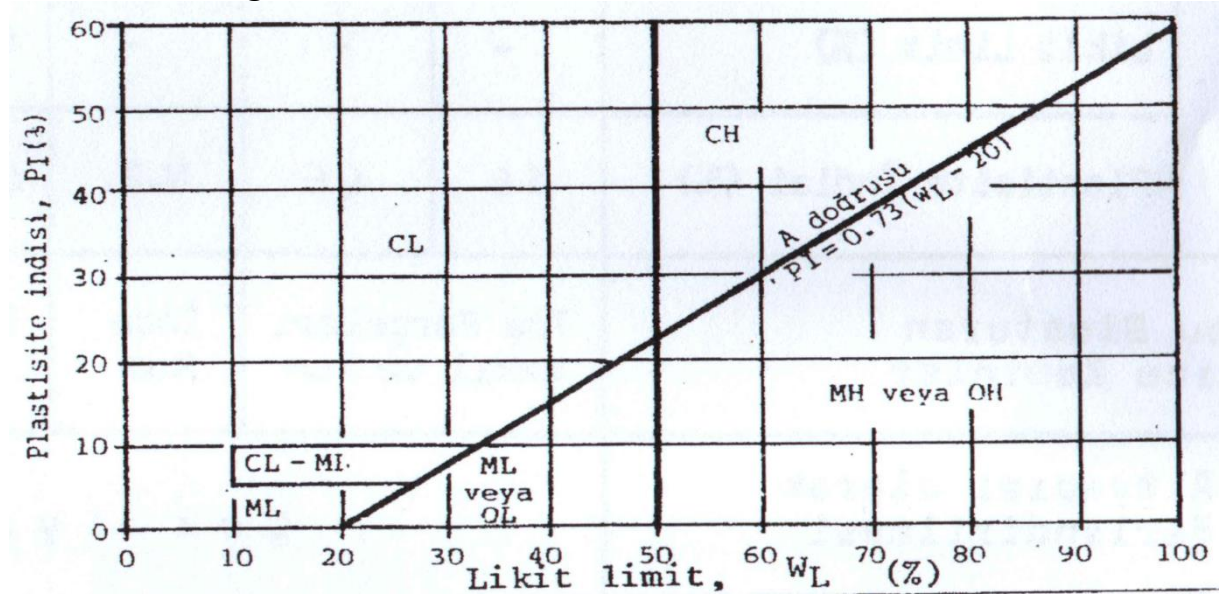
3. Plastisite İndisi

Plastisite indisi = likit limit – plastik limit

Deneyde olan yanlışlar:

- Deney için alınan malzeme numuneyi temsil etmelidir.
- Deneyde saptanan su içeriği, doğrudan likit limit ve plastik limit değerini verdiği için su içeriği belirlenmesine özen gösterilmelidir.
- Likit limit aletinin kalibrasyonu yapılmış olmalıdır.
- Bu deney rutubet odasında yapılmazsa deney süresince olacak nem kaybı, deney sonucunu etkiler.
- El ayası yerine parmak ile yuvarlama, çubukların plastik limit kıvamından önce çatlayıp ufalmasına sebep olur.
- Ufalanmış çubuk parçaları su içeriği belirlenmesi için numune kaplarına alınır ve tartılır.

4. Plastisite Grafiği



Şekil 2. Plastisite grafiği