

T. C.
BAYINDIRLIK VE İSKÂN BAKANLIĞI
DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
XVIII. Bölge Müdürlüğü

Yayın No : 2

DOLGU DENETİM TEKNIĞİ

HASAN TOSUN
Kalite Kontrol ve Laboratuvar
Şube Müdürü



Mart 1989 — ISPARTA

Özgür KÜÇÜKALİ
Zemin Mek. Lab. Şube Müdürü

ÖNSÖZ

Bir eşya satın aldığınız zaman, o eşyanın emniyetli olarak çalıştığını görmek istersiniz. Örneğin satın alınan bir ampulün çalıştığı ve emniyetli olduğu küçük bir deneme ile belirlenebilir. Eğer satın alınan eşya çalışmıyor veya emniyetli değil ise, muhtemelen o eşyadan yeniden satın almazsınız. Bu nedenle imalatçılar, sürekli olarak kendi ürünlerinin kalitesini kontrol etmek mecburiyetindedirler.

Bir toprak barajın emniyetli olduğunu tetkik etmek, bir ampulün düğmeye basıldığında çalışıp çalışmadığını görmekten biraz daha karmaşıktır. Bir toprak dolgu barajın ampul örneğinde olduğu gibi bütünüyle emniyetli olup olmadığı belirlenemez. Bu nedenle dolguda kullanılan malzeme ve inşaat tekniklerinin uygunluğu inşaat safhasında denetlenir.

Bu cep kitabı, özet olarak dolgu inşaatı deneyiminin temel prensiplerinin öğrenilmesinde veya yeniden kritiğinin yapılmasında yardımcı olacaktır. Bu kitap; laborant, inşaat teknisyeni, teknikeri ve mühendisi gibi konuyla ilgili çalışacak yeni DSİ personelinin, kendi görevlerini layıkıyla yerine getirmede müracaat edebilecekleri değerli küçük bir kaynak eser olacaktır. Bu kitaptaki her bölümün sonunda, metin bölümünde verilen bilgilerin daha iyi anlaşılabilmesi için hazırlanmış örnek problemler ve çözümleri bulunmaktadır.

Bu cep kitabındaki bilgilere girilmeden önce, zeminin birim ağırlığının, hacminin ve su muhtevasının nasıl hesaplandığının, yağ birim ağırlığın kuru birim ağırlığa nasıl dönüştürüldüğünün ve kohezyonlu zeminlerde Proktor nem-birim ağırlık ilişkisinin nasıl elde edildiğinin bilinmesi ge-

rekmedir. Bu cep kitabı, okuyucunun bu konuları bildiği varsayımı ile hazırlanmıştır. Ancak konu ile ilgili detay bilginin alınabileceği yayınlar toplu olarak Kaynaklar Bölümünde verilmektedir.

Bu yayının da bir parçasını teşkil ettiği tatbikata yönelik teknik çalışmaların yapılmasını bizzat isteyen ve çalışmalarımız sırasında her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen DSİ 18. Bölge Müdürü Sayın Emin ERDOĞAN'a teşekkür etmeyi bir borç biliyorum. Ayrıca bu cep kitabının hazırlanmasında emeği geçen DSİ çalışanlarına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
1. GİRİŞ	1
2. KİLLİ VE SİLTİLİ ZEMİNLERDE SIKIŞMA KONTROLÜ	3
2.1. D Oranı	4
2.2. C Oranı	12
2.3. Su Muhtevası	14
3. KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE SIKIŞMA KONTROLÜ ..	21
3.1. Bağlı Yoğunluk İçin Şartnameler	24
3.2. Ağırlı Bağlı Yoğunluk Değerleri	26
3.3. Kontrol Yönteminin Belirlenmesi	26
4. TOPRAK İŞLERİ KONTROL SEMBOLLERİ	31
4.1. Proktor Kontrol Yöntemi	31
4.2. Bağlı Yoğunluk Kontrolü	33
5. SIKIŞMA KONTROL KRİTERLERİ	38
5.1. Yerey Yoğunluk Deneylerinin Sıklığı ...	38
5.2. Kanallar ve Değişik Yapılar İçin Yoğunluk ve Nem Kriterleri	40
5.2.1. Toprak Barajlar için Yoğunluk ve Nem Kriterleri	40
5.2.2. Yüksek Toprak Barajlar için Özel Kriterler	43
KAYNAKLAR	58

1. GİRİŞ

Dolgu barajlar ve kanal dolgular gibi toprak yapılarında kullanılan malzemeler, dayanım, permeabilite ve kompressibilite özellikleri yönünden önem arz ederler. Toprak yapılar stabil kalabilmeleri için yeteri kadar dayanımlı olmalı ve zemin içindeki su akımı bütün su dayanma yapılarında olduğu gibi aşırı olmamalıdır. Ayrıca yükler altında dolgunun oturması, belli limitler içinde kalmalıdır.

Malzemenin dayanımı, permeabilitesi ve kompressibilitesi, kullanılan zeminin cinsi, birim ağırlığı ve su muhtevası ile kontrol edilir. Toprak yapılar da kullanılacak zemin cinslerinin seçilmesinden sonra, inşaat safhasındaki kalite kontrol işlemleri aşağıdaki unsurları ihtiva etmelidir.

1. Doğru malzemenin kullanıldığından emin olunması.
2. Dolgu boyutlarının projeye uygun olup olmadığının kontrol edilmesi.
3. Kullanılan malzemenin su muhtevası ve birim ağırlığının şartnamede verilen değerlere uygun sağladığından emin olunması.
4. Malzemenin permeabilite gibi diğer özelliklerinin deneye tabi tutulması.

Müteahhitin şartnamede var olan bu hususlara uyduğunu takip etmek Kontrollüğün görevidir. Kontrollük, bu hususlarla ilgili deneyleri yapacak ve sonuçları rapor edecek bir arazi laboratuvarı ile desteklenmelidir[1].

Killi ve siltli zeminlerde yoğunluk artırılması mekanik olarak tokmakla yapılır. Sıkışma derecesi ise, Proktor nem-yoğunluk ilişkisi ile kontrol edilir. Bu zeminler, baraj ve kanal gibi su bariyer yapılarında kullanılır.

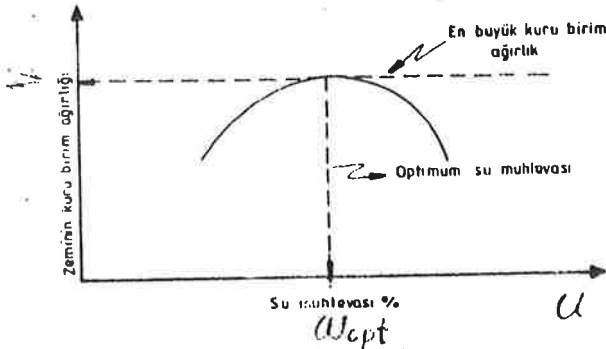
Kum ve çakıl gibi serbest drenajlı konezyonsuz zeminler, genellikle doygun halde içsel vibrasyonla

sıkıştırılır ve sıkışma derecesi bağıl yoğunluk yöntemiyle kontrol edilir. Bu zeminler, genellikle serbest drenajlı olması yani kohezyonlu zeminlerden daha yüksek geçirimsizliğe sahip bulunması nedeniyle, suyun drene edilmek istendiği her yerde kullanılabilir. Kohezyonsuz zeminler, genellikle killi ve siltli zeminlerden daha az sıkışabilir özelliğe sahiptirler.

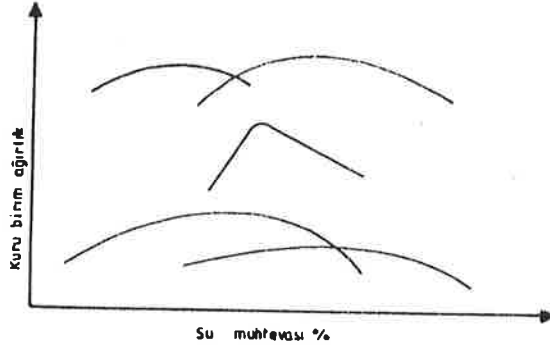
2.KILLİ VE SİLTİLİ ZEMİNLERDE SIKIŞMA KONTROLÜ

Killi ve siltli zeminlerin yoğunluğunun artırılması malzemenin dayanımını artırır, permeabilite ve kompressibilitateyi azaltır. Dolgu inşaatında standard bir yoğunluk değeri kullanılamaz, çünkü zeminler çok değişkendir. Ancak her zeminin sıkışma derecesini belirlemek için standard bir deney geliştirilmiştir.

Proktor sıkışma eğrisi, her zeminin kendi optimum nem muhtevasına bağlı bir en büyük birim ağırlığa sahip olduğunu gösterir (Şekil 1).



Ancak zeminin her tipi, değişik bir sıkışma eğrisine sahiptir. Bu nedenle en büyük birim ağırlık ve optimum su muhtevası için standard bir değer kullanılamaz (Şekil 2).



Şekil 2. Değişik zeminler için proktor sıkışma eğrileri

2.1. D Oranı

Toprak dolgularda kullanılan malzeme, kendi yoğunluğuna göre değerlendirilir. Dolguda ölçülen yerey birim ağırlık, laboratuvarda Proktor deneyi ile belirlenen potansiyel birim ağırlıkla mükayese edilir. Yoğunluk, yerey birim ağırlığın laboratuvar en büyük birim ağırlığına oranı olarak değerlendirilir. Yoğunluk değerlendirmesi; % 95, % 98 gibi yüzde oranı olarak ifade edilir.

$$\text{Yoğunluk Değerlendirmesi} = \frac{\text{Ölçülen yerinde birim ağırlık}}{\text{Laboratuvar en büyük birim ağırlığı ile temsil edilen potansiyel birim ağırlık}}$$

$$D = \frac{\gamma_{kd.}}{\gamma_{kmax.}} \times 100 = \% \dots\dots$$

Sıkıştırılmış toprak kitlesinde ölçülen birim ağırlık, yerey yoğunluk deneyi ile belirlenir. Dolgu, toprak seddeler veya inşaa edilmiş bir toprak kitlesi için kullanılan diğer bir isimdir. Yerinde birim ağırlık değerinin belirlenmesiyle ilgili örnekler ve detay bilgi ekteki kapaklardan elde edilebilir [1] [2].

Yerey birim ağırlık belirlenmesinde kullanılan diğer yöntemlerde mevcuttur. Esas olarak bütün bu yöntemler, bir deney çukurunun açılması, bu açılan çukurdan çıkan malzemenin tartılması ve bu çukurun hacminin belirlenmesini gerekli kılar.

$$\text{Dolgu yaş birim ağırlığı} = \frac{\text{Deney çukurundan çıkan zeminin ağırlığı}}{\text{Deney çukurunun hacmi}} = \frac{W}{V}$$

γ_d

Yoğunluk değerlendirilmesi, zeminin kuru birim ağırlığına bağlıdır. Bu nedenle zeminin su muhtevasının bilinmesi gerekmektedir. Su muhtevası, zemin numunesi içindeki suyun numunenin kuru ağırlığına oranıdır. Su muhtevası genellikle % 11.2, 24.2 gibi oransal yüzde olarak ifade edilir. Yerey kuru birim ağırlık aşağıda verilen Eşitlikten bulunur.

$$\text{Kuru birim ağırlık} = \frac{\text{Yaş birim ağırlık}}{1 + \frac{\text{Su muhtevası}}{100}} = \frac{\gamma_y}{1 + w}$$

γ_k

Zeminin su muhtevasının belirlenmesiyle ilgili detaylı bilgi, Kaynaklar Bölümünde verilen ilgili dokümanlarda açık olarak sunulmaktadır [1] [2] [3].

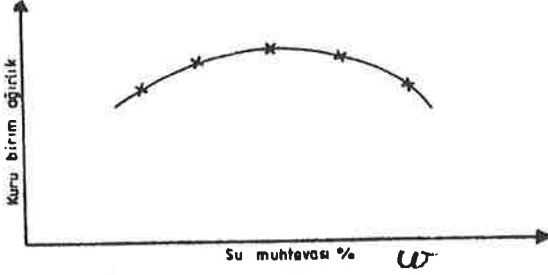
Laboratuvar en büyük birim ağırlığı, deney çukurundan alınan malzeme üzerinde Proktor sıkışma deneyinin yapılmasıyla elde edilir. Malzeme numuneleri beş farklı su muhtevasında hazırlanır ve hacmi bilinen silindir içinde sabit bir enerji uygulamak suretiyle sıkıştırılır. Silindir içindeki malzemenin ağırlığı ve silindirin hacminden yağ birim ağırlık belirlenir.

$$\text{Yağ birim ağırlık} = \frac{\text{Silindir içindeki zeminin ağırlığı}}{\text{Silindir hacmi}} = \frac{W}{V}$$

Her numunenin su muhtevası hesaplanır ve yağ birim ağırlık kuru birim ağırlığa dönüştürülür.

$$\text{Kuru birim ağırlık} = \frac{\text{Yağ birim ağırlık}}{1 + \frac{\text{Su muhtevası}}{100}} = \frac{W_y}{1 + W_w}$$

Her numune için kuru birim ağırlık, su muhtevasına bağlı olarak grafike edilir. Bu 5 noktadan geçen bir eğri elde edilecektir. Bu eğri, Proktor sıkışma eğrisi olarak adlandırılır (Şekil 3).



Şekil 3. Beş noktalı proktor sıkıştırma eğrisi

En büyük kuru birim ağırlık, bu eğrinin tepe noktasıdır ve zeminin potansiyel yoğunluğunu temsil eder. Yoğunluk değerlendirmesi D Oranı olarak bilinir. ve aşağıdaki gibi bulunur. D Oranı; % 98.2, % 99.0 gibi bir yüzde oranı ile ifade edilir.

$$D \text{ Oranı} = \frac{\text{Yerinde ölçülen yoğunluk}}{\text{Potansiyel yoğunluk}} \times 100$$

$$= \frac{\text{Dolgu kuru birim ağırlığı}}{\text{Laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığı}} \times 100$$

$$D = \frac{\gamma_{kd}}{\gamma_{kmax}} \times 100 = \% \dots\dots$$

Şartnameler, genellikle kanal kaplaması ve toprak baraj gibi yapının cinsine bağlı olarak % 90,95 gibi D Oranlarını gerekli kılmaktadır. Şartnameler, aynı zamanda dolgunun su muhtevası ve inşaatın kontrolünde kullanılan yöntemlerle ilgili hususları da ihtiva etmektedir.

ÖRNEK 1

Soru: Dolgu kuru birim ağırlığı 1.90 t/m^3 ve laboratuvar en büyük birim ağırlığı da 1.96 t/m^3 olarak belirlenmiştir. Şartnamede sıkıştırma yoğunluğu % 96 olarak belirtilmektedir. Dolgunun yeteri kadar sıkışıp sıkışmadığını bulunuz?

Çözüm:

$$D = \frac{\text{Dolgu kuru birim ağırlığı}}{\text{Laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığı}} \cdot 100$$
$$= \frac{1.90 \text{ t/m}^3}{1.96 \text{ t/m}^3} \cdot 100 = \% 97.0$$

$\% 97.0 > \% 96.0$,dür. Bu nedenle yeterli sıkışma elde edilmiştir.

ÖRNEK 2

Soru: Laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığı 1.58 t/m^3 dür. Şartnamede belirtilen D oranı ise % 95 dir. Şartnameye uygun olacak en düşük dolgu kuru birim ağırlığı ne olmalıdır?

$$\text{Çözüm: } D(\%) = \frac{\text{Dolgu kuru birim ağırlığı}}{\text{Laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığı}} \cdot 100$$

$$\begin{aligned} \text{Dolgu kuru birim ağırlığı} &= \frac{D(\%)}{100} \cdot \text{Laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığı} \\ &= \frac{95}{100} \cdot 1.58 \text{ t/m}^3 \\ &= 1.50 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

ÖRNEK 3

Soru: Yerey yoğunluk deneyi neticeleri, yaş birim ağırlığın 2.10 t/m^3 su muhtevasının ise % 14.0 olduğunu gösteriyor. Laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığı ise 1.90 t/m^3 olarak belirlenmiştir. Sıkışmanın yeterli olup olmadığını bulunuz?

$$\begin{aligned} \text{Çözüm: } \text{Dolgu kuru birim ağırlığı} &= \frac{\text{Dolgu yaş birim ağırlığı}}{1 + \frac{\text{Su muhtevası}}{100}} \\ &= \frac{2.10 \text{ t/m}^3}{1 + 0.14} \end{aligned}$$

$$= 1.84 \text{ t/m}^3$$

$$D \text{ Oranı} = \frac{\text{Dolgu kuru birim ağırlığı}}{\text{Laboratuvar en büyük birim ağırlığı}}$$

$$= \frac{1.84 \text{ t/m}^3}{1.90 \text{ t/m}^3} \times 100$$

$$= \% 96.8$$

% 96.8 > % 95 dir. Bu nedenle yeterli sıkışma elde edilmiştir.

ÖRNEK 4

Soru: Yerey yoğunluk deney verileri aşağıdadır.

Deney çukurundaki zeminin ağırlığı	: 6280 gr
Deney çukurunun hacmi	: 3120 cm ³
Su muhtevası laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığı	: % 13.2
	: 1.82 t/m ³

D Oranı : ?

Çözüm:

$$\text{Dolgu yağ birim ağırlığı} = \frac{\text{Deney çukurundan çıkan zeminin ağırlığı}}{\text{Deney çukuru hacmi}}$$

$$= \frac{6280 \text{ gr}}{3120 \text{ cm}^3} = 2.01 \text{ gr/cm}^3$$

$$= 2.01 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Dolgu kuru birim ağırlığı} = \frac{\text{Dolgu yaşı birim ağırlığı}}{1 + \frac{\text{Su muhtevası}}{100}}$$

$$= \frac{2.01 \text{ t/m}^3}{1 + \frac{13.2}{100}} = \frac{2.01 \text{ t/m}^3}{1.132}$$

$$= 1.78 \text{ t/m}^3$$

$$\text{D Oranı} = \frac{\text{Dolgu kuru birim ağırlığı}}{\text{Laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığı}} \times 100$$

$$= \frac{1.78 \text{ t/m}^3}{1.82 \text{ t/m}^3} \times 100$$

$$= \% 97.8$$

2.2. C Oranı

Eğer D oranı partnamede verilen değerleri sağlamıyorsa, iki farklı neden olabilir.

1. Uygun olmayan su muhtevası
2. Düşük yerey sıkıştırma enerjisi

Doğru seçilmiş su muhtevası değeri, kohezyonlu zeminlerin sıkıştırılmasında yardımcı olur. Ancak oldukça küçük veya oldukça fazla su, uygun sıkışmayı önleyecektir. Eğer sıkıştırma aracı tarafından zemine uygulanan enerji Proktor sıkışma deneyinde sağlanan enerjiden az ise, sıkıştırılan malzemenin yoğunluğu arzulananından daha az olacaktır.

Sıkıştırma araçlarının gücü, malzemenin laboratuvarında silindir içinde ve dolgu su muhtevasında sıkıştırılmasıyla kontrol edilir. Su muhtevası aynı olmasına rağmen, sıkıştırılan dolgudaki malzemenin ve silindirdeki zeminin birim ağırlıkları arasında oluşabilecek herhangi bir değişiklik, uygulanan enerjideki farktan kaynaklanır.

Sıkıştırma gücü C Oranı ile değerlendirilir.

$$C \text{ Oranı} = \frac{\text{Dolgu kuru birim ağırlığı}}{\text{Dolgu su muhtevasında silindir kuru birim ağırlığı}}$$

C oranı, daima D oranına eşit veya bu değerden büyüktür. Çünkü D ve C oranları, sırasıyla dolgu kuru birim ağırlığının laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığına ve silindir kuru birim ağırlığına bölünmesiyle elde edilir. Silindir kuru birim ağırlığının daima en büyük kuru birim

ağırlığa eşit veya daha küçük olması nedeniyle C oranı, D oranına eşit veya daha büyük olacaktır.

Standard enerji uygulaması, Proktor sıkıştırma deneyinin temel şartıdır. Dolguya uygulanan sıkıştırma enerjisi, sıkıştırıcının tipine (keçilayağı, lastik tekerlekli silindir, pönamatik el tokmağı gibi), sıkıştırıcının ağırlığına ve pas sayısına bağlıdır. Çoğu durumda arazide uygulanan enerji, Proktor sıkıştırma deneyinde uygulanan enerjiden daha büyüktür. Eğer C oranı düşükse, ya sıkıştırıcı yeteri derecede ağır değildir veya pas sayısı gerekenden daha azdır.

ÖRNEK 5

Soru: Yerey birim ağırlık deneyinden elde edilen D oranı % 92.4 dır. Şartnamede belirtilen D oranı limiti ise % 95 dir. Eğer dolgu kuru birim ağırlığı 1.82 t/m^3 ve malzemenin dolgu su muhtevastındaki şilindir kuru birim ağırlığı 1.95 t/m^3 ise, C oranı nedir ?

Çözüm: C oranı = $\frac{\text{Dolgu kuru birim ağırlığı}}{\text{Dolgu su muhtevastında silindir kuru birim ağırlığı}} \times 100$

$$\begin{aligned} &= \frac{1.82 \text{ t/m}^3}{1.95 \text{ t/m}^3} \times 100 \\ &= \% 93.3 \end{aligned}$$

C oranının % 95 den küçük olması (D oranı da küçük olacaktır), sıkıştırma enerjisinin yeteri kadar yüksek olmadığını göstermektedir.

2.3. Su Muhtevası

Zeminin en büyük laboratuvar kuru birim ağırlığı, optimum su seviyesinde oluşur. Eğer dolgu malzemesinin su muhtevası optimuma yakın ise, teklif edilen sıkıştırma yöntemi (silindir tipi, ağırlığı ve pas sayısı), şartnamede belirtilen yerey birim ağırlığı verecektir. Bazı durumlarda sıkıştırma yöntemi belirtilmez, ancak müteahhitten belli bir D oranına ulaşması istenir. Eğer dolgu su muhtevası optimumdan oldukça farklı ise, yeterli sıkışmayı elde etmek zor olabilir.

Dolgu su muhtevasının kontrolü, optimum su muhtevası ve dolgu su muhtevası arasındaki farka bağlıdır. Optimum su muhtevası için w_o ve dolgu su muhtevası için w_d sembolleri kullanılır. Fark, daima $w_o - w_d$ olarak ifade edilir. Netice olarak nem kontrolü aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\text{Nem kontrolü} = \text{Optimum nem} - \text{dolgu nemi}$$

veya

$$w_o - w_d = \text{Optimum nem} - \text{dolgu nemi}$$

Eğer dolgu nemi optimum nemden yüksek ise, $w_o - w_d$ değeri negatif olacaktır. Pozitif $w_o - w_d$ değeri ise, sıkıştırılan malzemenin optimum su muhtevasından daha kuru olduğunu gösterir. $w_o - w_d$ değeri, eğer D oranı düşükse, uygun olmayan su muhtevası ihtimallerini belirlemek için kullanılır. Aynı zamanda bu değer bilinmesiyle dolgunun inşaat safhasındaki su muhtevası kontrol edilir. Toprak yapının amacına ve projesine bağlı olarak şartnameler, dolgu su muhteva-

sının belli bir aralık içinde olmasını gerekli kılabilir. Örnek olarak şartnamelerde $w_0 - w_d$ için % -2 ve % +2 şartının sağlanması gerektiği (veya optimumdan % 2 yaş ve % 2 kuru değerlerin kabul edildiği) belirtilmektedir. Uygun birim ağırlık sağlanmış olsa bile, uygun olmayan su muhtevası sıkıştırılmış sahanın reddedilmesine neden olabilir. Böyle durumlarda, zeminin su muhtevası su ilave edilerek artırılır veya kurutmak suretiyle azaltılır.

DSİ tarafından inşaa edilen toprak yapılar da sıkıştırılmış kohezyonlu zeminin su muhtevası ve yoğunluğu, kontrol kriterlerinin temelini teşkil eder. D Oranı, C Oranı ve $w_0 - w_d$ değeri, DSİ Teknik Şartnamelerinin bir parçasıdır.

$$D(\%) = \frac{\text{Dolgu kuru birim ağırlığı}}{\text{Laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığı}} \times 100$$

$$C(\%) = \frac{\text{Dolgu kuru birim ağırlığı}}{\text{Dolgu su muhtevasında silindir kuru birim ağırlığı}} \times 100$$

$$w_0 - w_d(\%) = \text{Optimum su muhtevası} - \text{dolgu su muhtevası}$$

ÖRNEK 6

Soru: Dolgu yağ birim ağırlığı	: 1.84 t/m ³
Dolgu su muhtevası	: % 13.9
Silindir yağ birim ağırlığı:	1.94 t/m ³
(dolgu su muhtevasında)	
Laboratuvar en büyük birim	
ağırlığı	: 1.72 t/m ³
Optimum su muhtevası	: % 12.7
D oranı	: % 98
(Şartnamede verilen)	

D, C ve w -w büyüklüklerini bulunuz. Neticeler kabul edilebilir mi? Kabul edilemezse nedenini yazınız?

Çözüm :

$$\begin{aligned} \text{Dolgu} \\ \text{kuru birim ağırlığı} &= \frac{1.84 \text{ t/m}^3}{1.139} \\ &= 1.62 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Silindir} \\ \text{kuru birim ağırlığı} &= \frac{1.94 \text{ t/m}^3}{1.139} \\ &= 1.70 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

$$D = \frac{1.62 \text{ t/m}^3}{1.72 \text{ t/m}^3} \times 100 = \% 94.2$$

$$C = \frac{1.62 \text{ t/m}^3}{1.70 \text{ t/m}^3} \times 100 = \% 95.3$$

$$w_o - w_d = \% 12.7 - \% 13.9$$
$$\% - 1.2$$

D = % 94.2	$w_o - w_d = \% -1.2$
C = % 95.3	

Nem istenilen aralıkta ancak C oranı (%95.3) şartnamede belirtilen değerden küçük olduğu için yeterli sıkışma elde edilememiş oluyor Nedeni, uygulanan enerjinin düşük olması.

ÖRNEK 7

Soru: Şartnamede D = % 98 ve $w_o - w_d = \% (-2) - (+2)$ olarak belirtiliyor. Aşağıda verilen deneylerin neticelerini ve nedenlerini yazınız?

a) D = % 96.6 Sıkışma: % _____
C = % 99.2 Nedeni: _____
 $w_o - w_d = \% -3.2$

b) D = % 95.0 Sıkışma: % _____
C = % 95.1 Nedeni: _____
 $w_o - w_d = \% + 0.2$

c) D = % 98.4 Sıkışma: % _____
C = % 99.8 Nedeni: _____
 $w_o - w_d = \% -0.6$

- d) D = % 98.2 Sıkışma: % _____
C = % 102.1 Nedeni: _____
 $w_o - w_d = \% + 2.7$
- e) D = % 96.4 Sıkışma: % _____
C = % 96.4 Nedeni: _____
 $w_o - w_d = \% 0.0$

- Çözüm: a) Yeterli değil, dolgu çok fazla ıslak
b) Yeterli değil, düşük sıkıştırma enerjisi
c) Yeterli, bütün şartlar sağlanmış durumda
d) Yeterli değil, dolgu çok fazla kuru
e) Yeterli değil, düşük sıkıştırma enerjisi

ÖRNEK 8

Soru: Dolgu yağ birim ağırlığı: : 1.97 t/m³
Silindir yağ birim ağırlığı: 2.12 t/m³
(dolgu su muhtevasında)
D oranı : % 95
(şartnamede istenilen)

Dolgu sıkışmasının yeterli olup olmadığını tetkik ediniz?

Çözüm: Bu verilerle D oranı belirlenemez, ancak D oranı daima C oranından küçük veya eşittir. Eğer C oranı % 95 den küçük ise, D oranı da % 95 den küçük olacaktır.

Dolgu yaş birim ağırlığı ve dolgu su muhtevastaki silindir yaş birim ağırlığı aynı su muhtevastına sahip olmaları nedeni ile, yaş birim ağırlıkların oranı kuru birim ağırlıkların oranıyla aynı olmalıdır. İspatı aşağıdaki gibi yapılabilir.

$$C = \frac{\text{Dolgu kuru birim ağırlığı}}{\text{Silindir kuru birim ağırlığı}} \\ (\text{dolgu su muhtevastında})$$

$$\text{Dolgu kuru birim ağırlığı} = \frac{\text{Dolgu yaş birim ağırlığı}}{1 + \text{dolgu su muhtevastı}}$$

$$\text{Silindir kuru birim ağırlığı} = \frac{\text{Silindir yaş birim ağırlığı}}{1 + \text{dolgu su muhtevastı}}$$

$$C = \frac{\frac{\text{Dolgu yaş birim ağırlığı}}{1 + \text{dolgu su muhtevastı}}}{\frac{\text{Silindir yaş birim ağırlığı}}{1 + \text{dolgu su muhtevastı}}}$$

Eşitliğin pay ve paydasındaki (1 + dolgu su muhtevastı) b¼¼kl¼¼kl¼¼leri birbirini g¼¼t¼¼r¼¼r. Bu durumda C oranı aşağıdaki gibi yazılır.

$$C = \frac{\text{Dolgu yaş birim ağırlığı}}{\text{Silindir yaş birim ağırlığı}} \\ \text{(dolgu su muhtevasında)}$$

$$C = \frac{1.97 \text{ t/m}^3}{2.12 \text{ t/m}^3} \times 100 = \% 92.9$$

Dolgu sıkışması yeterli değildir.Çünkü I oranına eşit veya büyük olması gerekli C oranı (% 92.9),şartnamede verilen D oranından (% 95) küçüktür.

3. KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE SIKIŞMA KONTROLÜ

Kum ve çakıl gibi kohezyonsuz zeminlerin sıkışma kontrolü, Proktor sıkışma yönteminden çok bağıl yoğunluk belirleme yöntemiyle yapılır. Kohezyonsuz zeminler Proktor deneyi ile laboratuvarında sıkıştırıldığı zaman düzenli olmayan bir sıkışma eğrisi oluşur ve belirgin bir en büyük birim ağırlık noktası elde edilemez.

Kohezyonsuz zeminlerde nem-yoğunluk ilişkisinin kuralları, Kaynaklar Bölümünde belirtilen ilgili dökümanlarda verilmektedir [3] [4]. Kohezyonsuz zeminlerin yoğunluk kontrolü, killi ve siltli zeminlerin yoğunluk kontrolüne benzemektedir. Gerçek yoğunluk, potansiyel yoğunlukla mukayese edilir. Gerçek yoğunluk, yerey yoğunluk deneyi ile belirlenir. Kohezyonsuz zeminler ile kohezyonlu zeminlerin yoğunluk kontrolündeki fark, potansiyel yoğunluğun belirlenmesine bağlıdır. Bağıl yoğunluk yönteminde zeminin en düşük birim ağırlığı % 0 bağıl yoğunluk olarak alınır. En düşük birim ağırlık, zeminin en gevşek durumunu temsil eder. Malzemenin en büyük birim ağırlığı, % 100 bağıl birim ağırlık olarak alınır. En büyük birim ağırlık, ıslak ve kuru durumda oluşabilir. Yani en sıkı durumdaki zeminin birim ağırlığıdır. En düşük ve en büyük birim ağırlıklar laboratuvarında belirlenir. Zeminin en gevşek ve en sıkı birim ağırlıkları kullanılan deney yöntemine bağlıdır.

Zeminin yerey birim ağırlığı genellikle en düşük ve en büyük birim ağırlıklar arasında bir yerdedir ve % 43 bağıl yoğunluk, % 76 bağıl yoğunluk gibi yüzdelerle ifade edilir. Bağıl yoğunluk D_r ile gösterilir.

$$D_r = \% 43$$

$$D_r = \% 76$$

Bağıl yoğunluğu bulmak için özel geliştirilmiş bir grafik kullanılır (Bkz. Örnek 9). Mukayesede zeminin kuru birim ağırlıkları kullanılır.

ÖRNEK 9

Soru: Kum malzeme üzerinde sıkışma deneyi yapılmış ve aşağıda verilen değerler elde edilmiştir. Malzemenin bağıl yoğunluğunu bulunuz?

En düşük kuru birim ağırlık: 1.45 t/m^3

En büyük kuru birim ağırlık: 2.08 t/m^3

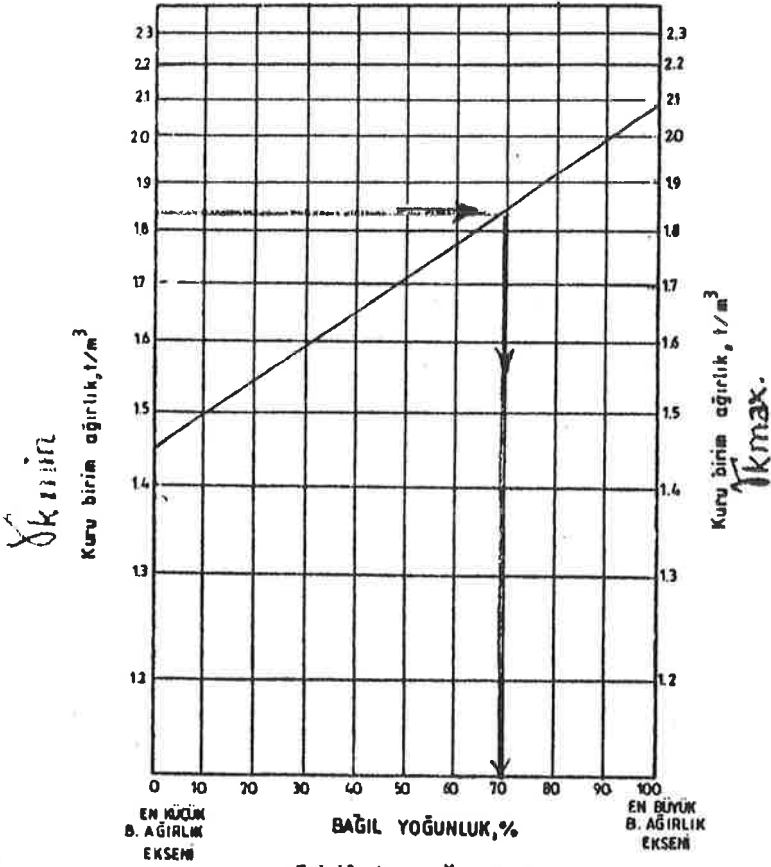
Yerey kuru birim ağırlık : 1.84 t/m^3

Bağıl yoğunluk : ?

Çözüm: En düşük birim ağırlık grafiğin sol kenarından işaretlenir (% 0 bağıl yoğunluk) ve en büyük birim ağırlık ise grafiğin sağ kenarından işaretlenir (% 100 bağıl yoğunluk). Bu iki nokta bir doğru çizgi ile birleştirilir. Yerey kuru birim ağırlık, düşey eksen den bulunur ve bu noktadan yatay eksene paralel bir doğru çizilir. Bu doğru nun , en düşük ve büyük birim ağırlık çizgisini kestiği yerden dik inilir. Bu dik doğrunun yatay eksenini kestiği yer malzemenin bağıl yoğunluğunu yani sıkışma yüzdesini verir (Bkz. Şekil 4).

$$D_r = \% 70$$

BAĞIL YOĞUNLUK - KURU BİRİM AĞIRLIK GRAFIĞI



Şekil 4 - Örnek 9

3.1. Bağıl Yoğunluk İçin Şartnameler

Konezyonsuz zeminlerin sıkışma kontrollü için şartnameler, bağıl yoğunluk yüzdesinin en düşük değerine göre verilmiştir. Eğer yerey birim ağırlık değeri % 70 bağıl yoğunluk değerinden büyük ise, sıkışma kabul edilir. Kohezyonsuz zeminlerin sıkıştırılmasında standard hale gelmiş bir su muhtevası değeri yoktur, yani su muhtevasıyla ilgili herhangi bir sınırlama getirilmemiştir. Ancak zeminin biraz nemli olması, gereken sıkışmanın elde edilebilmesi için gerekebilir.

ÖRNEK 10

Soru: En büyük kuru birim ağırlık: 1.89 t/m^3
En küçük kuru birim ağırlık: 1.56 t/m^3
Yerey kuru birim ağırlık : 1.86 t/m^3
 $D_r = \% 70$ (şartnamede belirtilen)

Bu kum malzeme yeteri kadar sıkışmış mıdır?

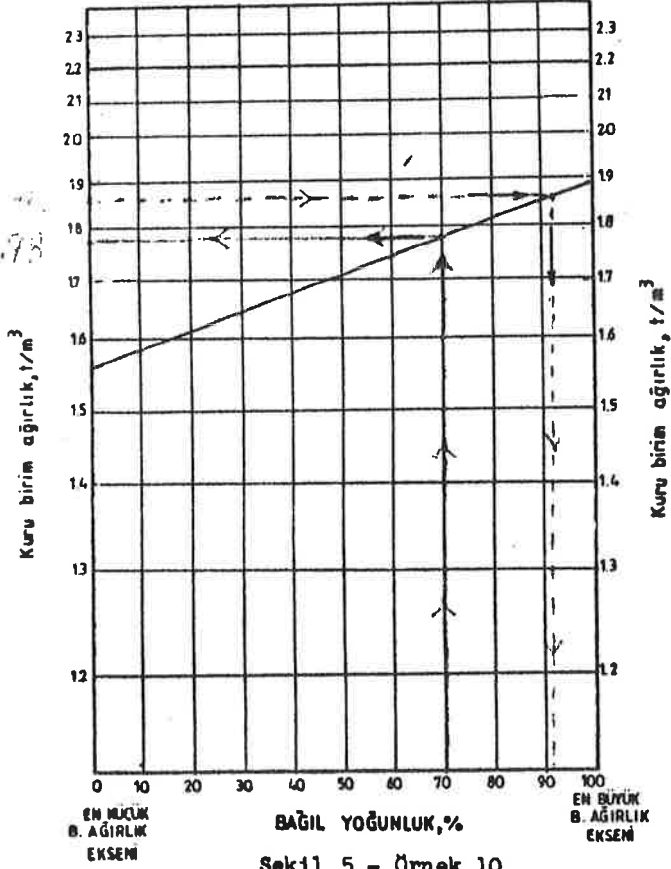
Çözüm: Veriler, Şekil 5 e işaretlendi ve % 70 bağıl yoğunluğa karşılık gelen kuru birim ağırlık 1.78 t/m^3 olarak bulundu. Bulunan bu değer, yerey kuru birim ağırlık değerinden küçüktür. Bu nedenle sıkışma kabul edilir.

$D_r = \% 70$, Y. birim ağırlık = 1.78 t/m^3

Y. Birim ağırlık = 1.86 t/m^3 , $D_r = \% 92$

$92 > 70$, sıkışma yeterlidir.

BAĞIL YOĞUNLUK - KURU BİRİM AĞIRLIK GRAFIĞI



3.2. Aşırı Bağlı Yoğunluk Değerleri

Yerinde yerey birim ağırlık, % 0 bağlı yoğunluktan az ve % 100 bağlı yoğunluktan büyük olabilir. En düşük birim ağırlık, etüvde kurutulmuş zeminden elde edilir. Bazı kumlar özellikle ince olanları nem nedeniyle şişebilir. Yani nemli ince kum, kuru olanından daha düşük yoğunluğa sahip olabilir. Nem, kum tanelerinin bir arada tutulmalarına ve hacimsel olarak genişlemelerine neden olur. Bu gibi durumlarda değerler, "% 0 bağlı yoğunluğun altında" veya " 0.05 t/m³ laboratuvar en düşük kuru birim ağırlığının altında" gibi ifadelerle birlikte rapor edilmelidirler.

Zeminin yerinde sıkıştırılması esnasında, killi ve siltli zeminlerde olduğu gibi laboratuvar deneyinde uygulanandan daha fazla enerji uygulanabilir. Bu durumda bağlı yoğunluk grafiği net D_r değerini belirlemek için dışa taşacak şekilde geliştirilebilir ($D_r = \% 105$, $D_r = \% 103$ gibi).

3.3. Kontrol Yönteminin Belirlenmesi

Dolgu sıkışma kontrolünde Proktor veya bağlı yoğunluk yöntemlerinin kullanılabilmesi için genel kurallar vardır. Hangi yöntemin kullanılacağı hakkında tereddütler mevcut ise, aşağıda anlatıldığı gibi en yüksek birim ağırlığın elde edildiği yöntem seçilmelidir.

Bağlı yoğunluk kontrol yöntemi, kum ve çakıl gibi serbest drenajlı olan kohezyonsuz zeminler için kullanılır. % 5 den düşük ince malzeme ihtiva eden zeminler genellikle kohezyonsuz ve serbest drenajlıdır. Bu tür zeminlerde en iyi sıkışma doygun halde iken içsel vibrasyon veya normal du-

rumda yüzey vibrasyonu kullanılarak elde edilir. İnce malzeme, 200 nolu elekten geçen parçacıklardır. % 12-15 e yakın ince malzeme ihtiva eden zeminler için sıkışma kontrolü Proktor yöntemiyle yapılır.

İnce malzemenin % 5-12 arasında bulunduğu sınır sembolü zeminlerde veya bağıl yoğunluk ve Proktor deneylerinin kullanılmasında belirsizliklerin olduğu durumlarda, her iki yöntemde denenmelidir [5]. Eğer şartnameler en düşük % 70 bağıl yoğunluğu ve % 95 Proktor. en büyük kuru birim ağırlığını gerekli kılıyorsa, malzeme üzerinde bağıl yoğunluk deneyi yapılır ve % 70 bağıl yoğunluk değerine karşılık gelen yerey birim ağırlık bulunur. Sonra Proktor deneyi yapılır ve % 95 Proktor sıkışmasına karşılık gelen yerey birim ağırlık değeri hesaplanır. Hangi yöntemle en yüksek birim ağırlık değeri elde ediliyorsa, o yöntem sıkışma kontrolü için kullanılmalıdır.

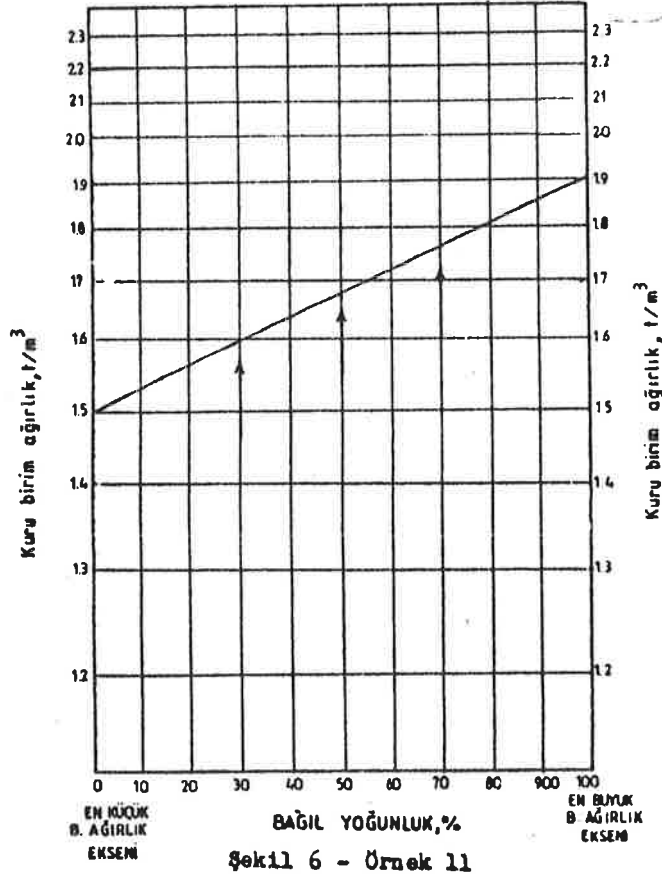
ÖRNEK 11

Soru: En düşük kuru birim ağırlık: 1.50 t/m^3
En büyük kuru birim ağırlık: 1.90 t/m^3

Yukarıda kum malzeme için en düşük ve büyük kuru birim ağırlık değerleri verilmektedir. Aşağıda verilen bağıl yoğunluk değerlerine karşılık gelen kuru birim ağırlıkları bulunuz?

- $D_r = \% 30$
- $D_r = \% 50$
- $D_r = \% 70$

BAĞIL YOĞUNLUK - KURU BİRİM AĞIRLIK GRAFİĞİ



Şekil 6 - Örnek 11

Çözüm: Şekil 6 çizildi ve buradan sorudaki bağıl yoğunluk değerlerine karşılık gelen kuru birim ağırlık değerleri bulundu.

- a) 1.60 t/m^3
- b) 1.68 t/m^3
- c) 1.76 t/m^3

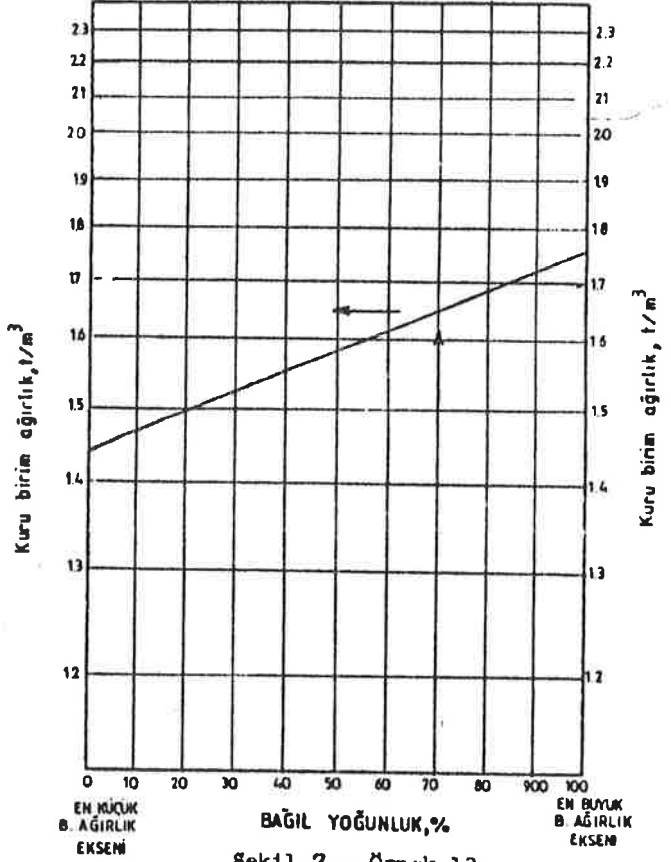
ÖRNEK 12

Soru: Temiz bir kum malzeme boru arka dolgusu olarak kullanılmaktadır. Şartnamede % 70 en düşük bağıl yoğunluk istenmektedir. Eğer kumun en düşük kuru birim ağırlığı 1.44 t/m^3 ve, en büyük kuru birim ağırlığı 1.76 t/m^3 ise, yerey birim ağırlık için kabul edilebilir en düşük değer nedir?

Çözüm: Şekil 7 çizildi ve % 70 bağıl yoğunluğa karşılık gelen yerey kuru birim ağırlık değeri bulundu.

Yerey kuru birim ağırlık = 1.65 t/m^3

BAĞIL YOĞUNLUK - KURU BİRİM AĞIRLIK GRAFIĞI



Şekil 7 - Örnek 12

4. TOPRAK İŞLERİ KONTROL SEMBOLLERİ

4.1. Proktor Kontrol Yöntemi

Yunan harfi gama γ , birim ağırlık için sembol olarak seçilmiştir. Bu sembolün hemen sağ altında kullanılan harf veya harfler, birim ağırlık tipini temsil eder. Birinci alt harf, zeminin nem durumunu belirlemek için kullanılır.

γ_y = yaş birim ağırlık

γ_k = kuru birim ağırlık

İkinci alt harf ise, birim ağırlığın elde edildiği ortamı veya ait olduğu yeri temsil eder.

d = dolgu (veya yerey)

s = silindir birim ağırlığı (hacmi bilinen silindirden elde edilir).

γ_{max} = en büyük birim ağırlık

Proktor sıkıştırma kontrol yönteminde kullanılan semboller aşağıda verilmektedir.

γ_{yd} = dolgu yaş birim ağırlığı

γ_{kd} = dolgu kuru birim ağırlığı

γ_{ys} = silindir yaş birim ağırlığı

γ_{ks} = silindir kuru birim ağırlığı

γ_{kmax} = laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığı

Laboratuvar yaş birim ağırlığı sıkışma kontrolünün temelini teşkil eden tepe noktası şartını sağlamadığından, laboratuvar en büyük yaş birim ağırlığı için bir sembol kullanılmaz.

Dolgu sıkışma kontrol kriterleri D ve C Oranları, şimdi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$D(\%) = \frac{\gamma_{kd}}{\gamma_{kmax}} \times 100$$

$$C(\%) = \frac{\gamma_{kd}}{\gamma_{ks}} \times 100$$

$w_o - w_d$ ifadesinde 'o' optimum nemi, 'd' dolgu nemini gösterir. 'w' ise, su muhtevasını temsil etmektedir. Bu el kitabı içinde bazı yerlerde 'nem muhtevası veya nemi', bazı yerlerde ise 'su muhtevası veya suyu' tabirleri kullanılmaktadır. Bu tanımlar aynı büyüklükleri tanımlamaktadır.

w = su muhtevası

w_o = optimum su muhtevası

w_d = dolgu su muhtevası

4.2. Bağıl Yoğunluk Kontrolü

Yerey birim ağırlık ve nem için semboller aynı kalır.

γ_{kd} = dolgu kuru birim ağırlığı

w_d = dolgu su muhtevası

Bu iki sembole ilave olarak aşağıdaki semboller de kullanılır.

γ_{kmin} = laboratuvar en düşük kuru birim ağırlığı

γ_{kmax} = Laboratuvar en yüksek kuru birim ağırlığı

D_r = Yerinde yerey kuru birim ağırlığın bağıl yoğunluğu

ÖRNEK 13

Soru: Aşağıda verilen her büyüklük için uygun sembolü seçiniz?

- | | |
|---|--------------------|
| 1. Silindir yağ birim ağırlığı | a) γ_{yd} |
| 2. Optimum su muhtevası | b) γ_{kd} |
| 3. laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığı | c) γ_{ys} |
| 4. Dolgu yağ birim ağırlığı | d) γ_{ks} |
| 5. Dolgu su muhtevası | e) γ_{kmax} |
| 6. Silindir kuru birim ağırlığı | f) w_o |
| 7. Dolgu kuru birim ağırlığı | g) w_d |

- Çözüm: 1. c 5. g
 2. f 6. d
 3. e 7. b
 4. a

ÖRNEK 14

Soru: Aşağıda verilen değerlere göre D, C ve $w_o - w_d$ büyüklüklerini bulunuz?

$$\begin{aligned}\gamma_{yd} &= 1.92 \text{ t/m}^3 & D &= ? \\ \gamma_{kd} &= 1.64 \text{ t/m}^3 & C &= ? \\ \gamma_{ys} &= 1.90 \text{ t/m}^3 & w_o - w_d &= ? \\ \gamma_{ks} &= 1.65 \text{ t/m}^3 \\ \gamma_{kmax} &= 1.67 \text{ t/m}^3 \\ w_o &= \% 18.3 \\ w_d &= \% 17.3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Çözüm: } D &= \frac{\gamma_{kd}}{\gamma_{kmax}} \times 100 = \frac{1.64 \text{ t/m}^3}{1.67} \times 100 \\ &= \% 98.2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C &= \frac{\gamma_{kd}}{\gamma_{ks}} \times 100 = \frac{1.64 \text{ t/m}^3}{1.65} \times 100 \\ &= \% 99.4\end{aligned}$$

$$w_o - w_d = \% 18.3 - 17.3 = \% +1.0$$

ÖRNEK 15

Soru: Aşağıdaki verilere bağlı olarak D_r oranını bulunuz?

$$\gamma_{yd} = 2.08 \text{ t/m}^3$$

$$w_d = \% 8.4$$

$$\gamma_{kmin} = 1.70 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{kmax} = 2.00 \text{ t/m}^3$$

Çözüm:

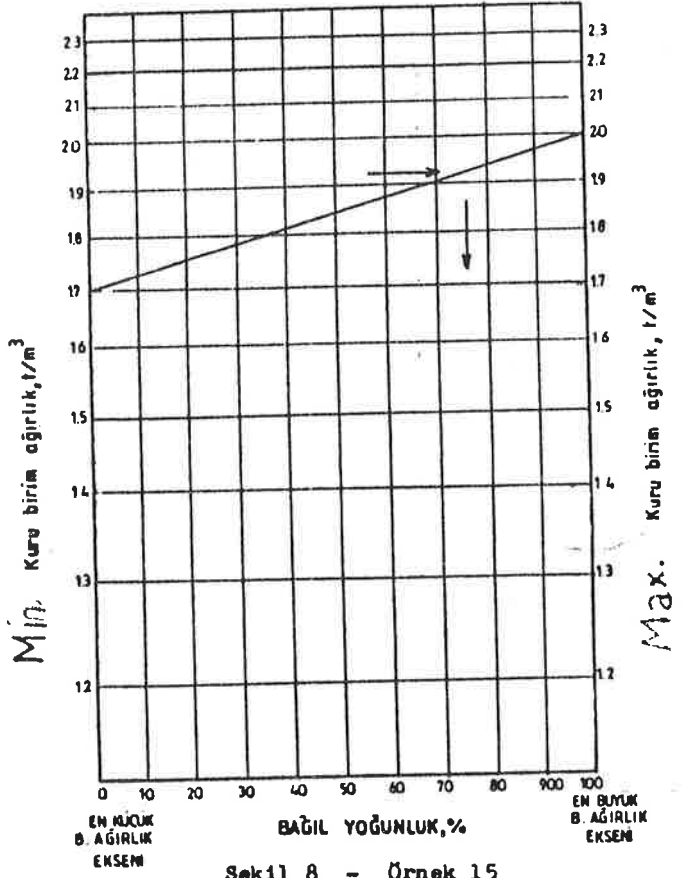
$$\gamma_{kd} = \frac{\gamma_{yd}}{1 + (w/100)} = \frac{2.08}{1.084} = 1.92 \text{ t/m}^3$$

Bkz. Şekil 8

$$D_r = \% 76$$

Kohezyonsuz zeminlerde

BAĞIL YOĞUNLUK - KURU BİRİM AĞIRLIK GRAFİĞİ



Şekil 8 - Örnek 15

SEMBOL VE EŞİTLİKLERİN ÖZETİ

Proktor Sıkışma Kontrol Yöntemi

γ_{yd} = dolgu yaşı birim ağırlığı

γ_{kd} = dolgu kuru birim ağırlığı

γ_{ys} = silindir yaşı birim ağırlığı

γ_{ks} = silindir kuru birim ağırlığı

γ_{kmax} = laboratuvar en yüksek kuru birim ağırlığı

w = su muhtevası

w_o = optimum su muhtevası

$$D(\%) = \frac{\text{Dolgu kuru b. ağırlığı}}{\text{Lab. en büyük kuru b. ağırlığı}} \times 100 = \frac{\gamma_{kd}}{\gamma_{kmax}} \times 100$$

$$C(\%) = \frac{\text{Dolgu kuru b. ağırlığı}}{\text{Silindir kuru b. ağırlığı (dolgu su muhtevasında)}} \times 100 = \frac{\gamma_{kd}}{\gamma_{ks}} \times 100$$

$w_o - w_d$ = optimum su muhtevası - dolgu su muhtevası

Bağıl Yoğunluk Kontrol Yöntemi

γ_{kmin} = laboratuvar en düşük kuru birim ağırlığı

γ_{kmax} = laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığı

D_r = Bağıl yoğunluk, %

5. SIKIŞMA KONTROL KRİTERLERİ

Dolgu sıkılaşma kontrolü için dikkate alınması gerekli iki kriter vardır.

1. Yerey birim ağırlık deneylerinin sıklığı
2. Killi ve siltli zeminlerde D oranı ve $w - w_d$ için ve kohezyonsuz zeminlerde D_r için belirlenen değerler

Bu kriterler, toprak yapının cinsine ve kullanma amacına göre değişiklik arz ederler.

5.1. Yerey Yoğunluk Deneylerinin Sıklığı

Aşağıda yapı cinsine bağlı olarak gereken en düşük yerey yoğunluk deney sayısı verilmektedir.

A. Barajlardaki tüm toprak işleri

1. Her vardiye için bir deney
2. Sıkılaşma derecesinin şüpheli olduğu yerlerde

B. Toprak barajlar

1. Seddeleme işleminin yoğun olduğu yerlerde
2. Dolgunun her 1500 m^3 u için bir deney (şüpheli bir durum olmadığı zaman)

C. Kanallar

1. Seddelerde her 1500 m^3 için bir deney
2. Kanal kaplamalarında her 750 m^3 için bir deney

D. Boru hatları ve değişik yapılar

1. El tokmağı (mekanik tokmak) ile her 150 m^3 için bir deney
2. Silindir veya traktör çekicili tokmakla her 750 m^3 için bir deney

E. Temsili numuneler- Bu numuneler, permeabilite-oturma ve/veya özgül ağırlık deneyleri için alınır. Ayrıca bu numunelerin alındığı lokasyona yakın bir yerde bir yerey yoğunluk deneyi yapılmalıdır. Temsili numuneler üzerinde yapılacak deneyler aşağıda belirtilen sıklığa göre olmalıdır.

1. Dolgu barajlar için her $20\,000 \text{ m}^3$ e bir deney
2. Sıkıştırılmış kanal kaplamaları, geçirimsiz kanal seddeleri ve geçirimsiz arka dolgusu için her 10 yerey yoğunluk deneyine bir temsili deney

ÖRNEK 15

Soru: Bir borulu sulama projesinde arka dolgusu mekanik tokmakla sıkıştırılmaktadır. Yapılması gerekli yerey yoğunluk deney sıklığı nedir?

Çözüm: Her 150 m^3 için bir deney

ÖRNEK 16

Soru: Sıkıştırılmış kanal kaplama işinde her gün iki vardiye (2x8 saat) olarak çalışılmaktadır. Eğer müteahhit 7 günlük bir

çalışma döneminde 12000 m³ kanal dolgusu sıkıştırılmışsa, yerey birim ağırlık deneyi için gereken en düşük sayı nedir?

Çözüm:

12000/750 = 16 deney

(Bkz. Sayfa 38, C şakkı 2. madde)

5.2. Kanallar ve değişik yapılar için yoğunluk ve nem limitleri

İnşaatın tipine ve kullanılan malzemeye bağlı olarak yoğunluk ve nem limitleri değişir. Aksi belirtilmediği sürece sıkıştırılmış malzemeler için % 95 Proktor en büyük kuru birim ağırlığı ve % 70 bağıl yoğunluk istenmektedir. Su muhtevası ile ilgili herhangi bir limit getirilmemiştir. Ancak uygun sıkıştırma için nem optimum seviyede olmalıdır. Bazı kaynaklarda kanallar ve değişik yapılar için nem muhtevasıyla ilgili bazı limitler sunulmaktadır [1] [4].

5.2.1. Toprak Barajlar için Yoğunluk ve Nem Kriterleri

Toprak dolgu barajlar için D oranı ve su muhtevası ile ilgili limitler getirilmiştir. D oranı için en düşük kabul edilebilir ve arzu edilen ortalama değerler vardır. Bu iki değer, kullanılan malzeme özeliği ve baraj yüksekliğine göre değişmektedir.

Herhangi bir yoğunluk deneyi neticesinin kabul edilebilir en düşük değerinin altında olması,

bu sahanın yeteri kadar sıkıştırılmadığını ve yeniden sıkıştırılması gerektiğini göstermektedir. İlave olarak belli bir dönemdeki tüm yerey yoğunluk deneylerine ait ortalama D oranı, en küçük kabul edilebilir değerden büyük ve belli bir değerde olmalıdır (arzulanan ortalama D oranı). Yani, Tablo 1 de verilen her iki kriter de sağlanmalıdır [1] [2] [6] [7].

ÖRNEK 16

Soru: 14 m yüksekliğinde bir gölet inşaatında bir aylık çalışma dönemi içinde aşağıda verilen yerey kuru birim ağırlık deney neticeleri kaydedilmiştir. Zeminin % 36 sı 4 nolu elek üstünde kalan kumlu kil- dir. Aşağıdaki değerler, kabul edilmeyip yeniden sıkıştırma istenilen sahalara ait yoğunlukları da ihtiva etmektedir.

Şartnameye göre
 en düşük kabul edilebilir D : % 92.5
 arzulanan ortalama D : % 95.0

D oranı, %			
96.2	94.5	96.2	101.6
97.9	98.7	100.2	94.7
95.4	99.3	100.4	97.7
95.4	95.6	91.3	95.8
93.2	92.3	96.6	95.6
91.2	94.4	92.3	91.6

Tablo 1. SIKIŞTIRILMIŞ BARAJ DOLGULARININ KONTROLÜ İÇİN KRİTERLER

MALZEME CİNSİ	HEÇMÜ MALZEMENİN KURU AĞIRLIĞININ YÜZDESİ OLAN BAKIMATEN BUTUK MALZEME	NO 4 TEN KÜÇÜK KISIMIN YÜZDELERİ ESASINA GÖRE				İŞMİTRE DEN YÜKSEK OLANLAR RÜTUBET LİMITLERİ W ₀ - W ₀
		YÜKSEKLİKKE İŞMİTRE BEVEYA DAHA AŞAĞISI	RÜTUBET LİMİTLERİ W ₀ - W ₀	MINİMUM KABUL EDİLE ORTALAMA LER KESAFET ORANI	İSTEMİLEN ORTALAMA KESAFET ORANI	
PROKTÖR	G. 25	D ₁ = 95	D ₂ = 98	D ₃ = 98	D ₄ = 100	
TECRUBESİ İLE KONTROL EDİLEN KOMEZONLU ZEMİNLER (Net 1e bakınız)	26 - 50	D ₁ = 92,5	D ₂ = 95	-2 DEN + 2 YE	D ₃ = 98	Z DEN ÖYAKDAR
İZAFİ KESAFETİ İLE KONTROL EDİLEN KOMEZONLU ZEMİNLER	> 50	D ₁ = 90	D ₂ = 93		D ₃ = 95	
İZAFİ KESAFETİ İLE KONTROL EDİLEN KOMEZONLU ZEMİNLER	0,25 (CAKILLI)	D ₁ = 75	D ₂ = 90	MALZEMELER ÇOK İSLAK OLMALIDIR	D ₃ = 90	MALZEMELER ÇOK İSLAK OLMALIDIR
İZAFİ KESAFETİ İLE KONTROL EDİLEN KOMEZONLU ZEMİNLER	0,25 (CAKILLI)	D ₁ = 70	D ₂ = 85	MALZEMELER ÇOK İSLAK OLMALIDIR	D ₃ = 85	MALZEMELER ÇOK İSLAK OLMALIDIR
İZAFİ KESAFETİ İLE KONTROL EDİLEN KOMEZONLU ZEMİNLER	0,25 (CAKILLI)	D ₁ = 65	D ₂ = 80	MALZEMELER ÇOK İSLAK OLMALIDIR	D ₃ = 80	MALZEMELER ÇOK İSLAK OLMALIDIR

W₀ - 1% OPTİMUM RÜTUBET İLE DOĞRU RÜTUBET ARASINDA; FAKTÖRÜN KURU AĞIRLIĞININ YÜZDESİ OLARAK
D₁ - 1% YÜZDE OLARAK DOĞRU KURU BİRM AĞIRLIĞININ HAV PRKTRİK KURU BİRM AĞIRLIĞINA ORAN
D₂ - İZAFİ KESAFET

NOT 1 - % 50 DEN FAZLA CAKIL İHTİVA EDEN ZEMİNLER GEİRMEZLİĞİNİ TEMİN İÇİN KULLANILYORSA MALZEMENİN BÜTÜNÜ ÜZERİNDE PERMEASİTE TECRUBELERİ YAPILMALIDIR
NOT 2 - YÜKSEK BARAJLAR İÇİN YERNE YERLEŞTİRME RÜTUBET LİMİTLERİ HAKKINDA ÖZEL TALİMATLAR MALZEMELERİN İÇİNDE

- a) Kabul edilmeyen deneyleri belirleyiniz ?
- b) Kabul edilen deneylerin ortalama D oranlarını bulunuz?
- c) Ortalama D oranı şartnameye uygun mu?

Çözüm:

- a) Reddedilen değerler: 91.2
92.3
91.3
92.3
91.6 (en düşük kabuledilebilir D = % 92.5)
- b) Kabul edilen 19 deneyin ortalaması : % 96.8
- c) Evet, çünkü ortalama değer şartnamede verilen arzulanan ortalama D oranından büyüktür (% 96.8 > % 95.0).

5.2.2. Yüksek Toprak Dolgu Barajlar için Özel Kriterler

15 metrenin üstünde yüksekliğe sahip gölet ve toprak barajlar dikkatle projelendirilir. Çoğunlukla zemin cinsine ve barajın projesine bağlı olarak teklif edilmiş özel kontrol kriterleri kullanılmaktadır. Yani sıkışma ve su muhtevası değerleri, belli limitler içinde kalmalıdır.

Nem Kontrolü

Sıkışma öncesinde ve esnasında dolgu malzemesinin su muhtevası, her tabakada üniform olarak dağılmalıdır. Yerleştirilen malzemenin su muhtevasına ait müsaade edilebilir aralıklar, proje gerçeklerine bağlıdır. Sıkıştırılmış toprak dolgunun su muhtevası, aşağıda belirtilen limitler içinde kalmalıdır.

- a) Standart optimum su muhtevasından % 3.5 daha kuru ve % 1 daha yaş şartlarda sıkıştırılan saha kabul edilmez ve bu limitler arasındaki su muhtevasına ulaşıncaya kadar işleme devam edilir.
- b) Üstteki limitler içinde ve kontrollük tarafından yapılan deneylerin kayıtlarına bağlı olarak su muhtevası değeri bütünüyle aşağıda verilen dağılıma uygun olmalıdır.
 - Kabul edilen dolgu malzemesi numunelerinin % 20 sinden fazlası, optimum su muhtevasının % 3 den daha kuru ve % 20 si, % 0.5 den daha fazla nemli olmamalıdır.
 - Kabul edilen tüm dolgu malzemesinin ortalama su muhtevası, standart optimum su muhtevasından % 0.5 - 1.5 arasında daha kuru olmalıdır.

Yoğunluk Kontrolü

Sıkıştırılmış toprak dolgunun sıkışma kontrolü, Kontrollük tarafından yapılır. Neticelerin aşağıdaki limitler içinde kalıp kalmadığı kontrol edilerek, sıkıştırılmış dolgunun kabul ve reddine karar verilir.

- a) Numuneler tarafından temsil edilen sıkıştırılmış dolgu malzemesinin yoğunluğu, % 96 Proktor en büyük kuru birim ağırlığından küçük ise, bu sıkıştırma işlemi kabul edilmez. % 96 sıkışma yüzdesine ulaşmaya kadar sıkıştırma işlemine devam edilir.
- b) Üstteki limite ve kontrollük tarafından yapı yapılan deneylerin kayıtlarına bağlı olarak sıkışma yüzdesi değerleri bütünüyle aşağıda verilen dağılıma uygun olmalıdır.
- Sıkıştırılmış dolgu malzemesini temsil eden numunelerin % 80 inin sıkışma yüzdesi, % 97 den fazla olmalıdır.
 - Kabul edilen tüm sıkıştırılmış dolgu malzemesinin ortalama sıkışma yüzdesi, % 100 veya daha büyük olmalıdır.

Bu kriterler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

D Oranı

- a) en düşük kabul edilebilir = % 96
b) deneylerin % 80 i % 97 nin üzerinde
c) ortalama = % 100 veya daha büyük

$w_o - w_d$

- a) en düşük kabul edilebilir = % +3.5 (kuru)
b) en büyük kabul edilebilir = % -1.0 (yağ)
c) deneylerin % 60 i % +3.0 ve % -0.5 arasında
d) ortalama % +0.5 ve % +1.5 arasında

Bu kriterle ilgili kontroller, periyodik (genellikle aylık) olarak yapılmalıdır. Bilgisayar yardımı ile bu kontroller, günlük veya haftalık olarak daha kolay yapılabilir. Belli bir periyod için ortalama değerler hesaplanır, kontrol edilir ve ilgili çizelgeye işlenir (Tablo 2 ve 3).

Nem kontrolü ile ilgili Çizelgede, oluşumun yenilenmesi kolonuna her deney için bir işaret konur. Periyod sonunda her aralığa ait işaretler toplanır. Tn kolonu altındaki ilgili bölüme yazılır. Topl Tn, Tn değerlerinin kümülatif olarak toplanmasıyla elde edilir. Topl % ise, Topl Tn değerlerinin toplam deney sayısına bölünmesiyle elde edilir ve yüzde (%) ile gösterilir. Aynı işlem benzer çizelge kullanılarak sıkışma yüzdesi için de yapılır ve kalite kontrol eğrileri çizilir (Şekil 9 ve 10). Netice olarak bu ortalama değerlerin yukarıda verilen kriterlere uygunluğu kontrol edilir.

Toprak barajlar, kanallar ve değişik yapılar için kontrol kriterleri Şekil 11 ve 12'de grafikte edilmiştir. Bu şekillerle ilgili açıklama ise aşağıda özetlenmektedir.

Yoğunluk Kriterleri

Kanallar için % 95 in altında D oranının belirlendiği numunelerin temsil ettiği sıkıştırılmış dolgular reddedilir. Kanal dolgularda sıkışma oranının üst limiti yoktur.

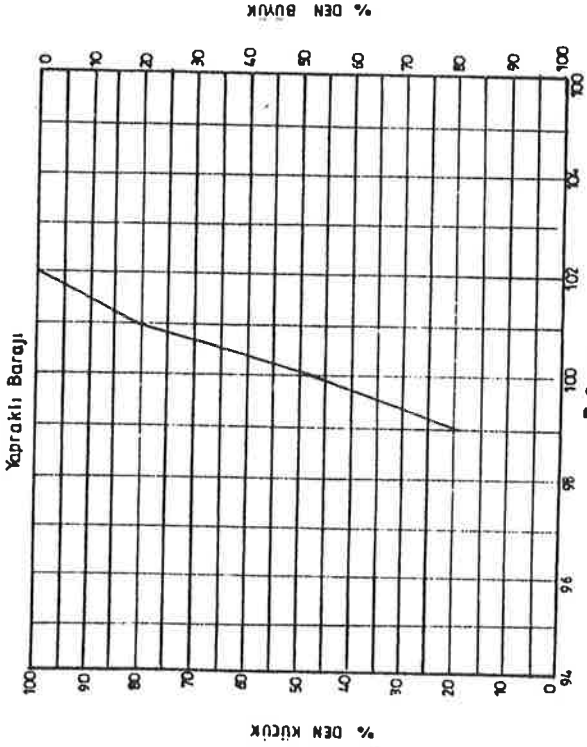
Küçük toprak dolgu barajların 1 nolu zonu için % 95 in altındaki D oranı değerleri kabul edilmez. Deneylerin % 16 sı % 95 ile % 96 arasında olabilir. Deneylerin % 50 sinin D oranı % 99 in üzerinde olmalıdır. Ortalama sıkışma oranı ise % 99 ve daha büyük olmalıdır. Kanallar ve toprak dolgu barajların 1 nolu zonu için kabul edilebilir D oran-

Tablo.2 Dolgu sıkışmasında birim ağırlık kontrolü

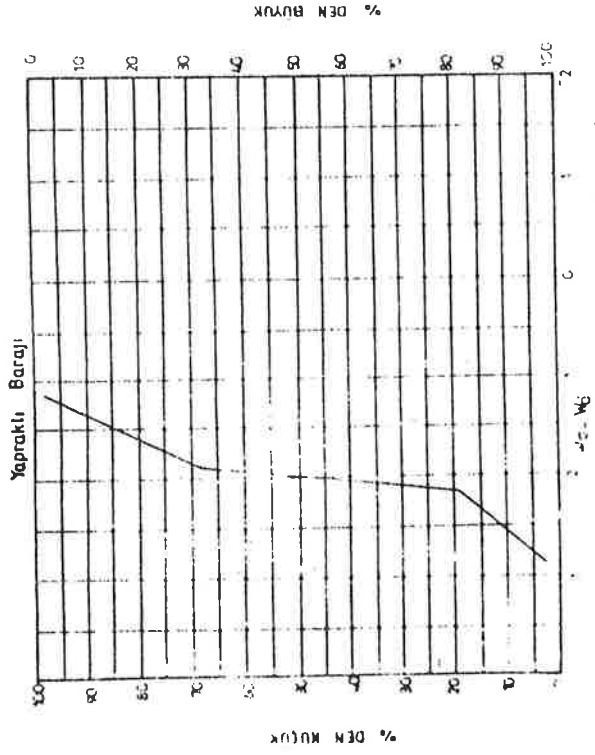
YAPRAKLI Barajı		Toprak İşi Kontrol Değeri		Zon - Kıl					
		BU PERİOD						BU TARİHE KADAR	
		YUKUBULMA	TEKERRÜRÜ (T)	TOPLU		TOPLU			
Tn	%			Tn	%				
86.0 - 86.9									
87.0 - 87.9									
88.0 - 88.9									
89.0 - 89.9									
90.0 - 90.9									
91.0 - 91.9									
92.0 - 92.9									
93.0 - 93.9									
94.0 - 94.9									
95.0 - 95.9									
96.0 - 96.9									
97.0 - 97.9									
98.0 - 98.9	III	I		6	6	12			
99.0 - 99.9	III	III		9	15	24			
100.0 - 100.9	III	III	III	13	28	40			
101.0 - 101.9	II	II		2	3.0	3.7			
102.0 - 102.9	I	I		1	3.1	1.0			
103.0 - 103.9									
104.0 - 104.9									
105.0 - 105.9									
106.0 - 106.9									
107.0 - 107.9									
108.0 - 108.9									
109.0 - 109.9									
110.0 - 110.9									
YERKÜN				31					
				EVALUASYON		BİTİRİM			
Ortalama max lab. huru kesafeti				1.629					
Ortalama dolgu huru kesafeti				1.624					
Max. laboratuvar kesafetinden değişim ortalaması				0.005					
Ortalama hava nemliliği (No.4 ten büyük max (%))				16.3					

Tablo.3 Dolgu sıkışmasında rutubet kontrolü

YAPILAN İşler		TOPRAK KONTROL İŞ KAĞIDI					RUTUBET KONTROLÜ		Zon: k:1	
		Toprak İş Kontrol Devresi					BU PERİOD		BU YARIHİNE KAPALI	
		VUKUBULMA TEKERRÜRÜ / T /					T _n	NOPTİOP T _n %	T _n	NOPTİOP T _n %
1. AŞAĞIDA	5.0									
	5.3-5.7									
	4.0-5.2									
	4.3-4.7									
	3.0-4.2									
	3.3-3.7									
	2.0-3.2	I				1	1	3		
	2.3-2.7	HH				5	6	19		
	1.0-2.2	HH	HH	HH	I	15	22	69		
	1.3-1.7	HH	HH		II	10	31	100		
	0.0-1.2									
	0.3-0.7			III						
2. YUKARIDA	0.2 -0.2									
	0.3-0.7									
	0.0-1.2									
	1.3-1.7									
	1.0-2.2									
	2.3-2.7									
	2.0-3.2									
	3.3-3.7									
	3.0-4.2									
	4.3-4.7									
	4.0-5.2									
	5.3-5.7									
	> 5.7									
YERİNİ						31				
							# VUKUBUL	BU PERİOD	BU YARIHİNE	
Ortalama optimum rutubet								39.4		
Ortalama dolgu rutubeti								39.5		
Optimum rutubetten farkın ortalaması								+ 1.9		



Şekil 9. Dolgu birim ağırlığı için kalite kontrol eğrisi (Tabb 2 e göre)



Şekil 10 Dolgu su manlevası için kalite kontrol eğrisi (Tablo 3'e göre)

larının dağılımı Şekil 11 de verilmektedir. Unutulmamalıdır ki toprak dolgu barajlar için kriterler, barajın projesine ve dolgu malzemesinin özelliklerine göre değişmektedir.

Nem Kriterleri

Nem, bir alt ve üst limite sahiptir. Bu limitler, Şekil 12 de verilmektedir. Kanal dolgusu için nem, % +2 (optimumun kuru) ve % -2 (optimumun ıslak) arasında olmalıdır.

Toprak dolgu barajlarda 1 nolu zon için nem, % +3.5 ile % -1.5 arasında olmalıdır. Deneylerin % 68 i % +2.5 ile % -0.5 arasında olmalı (% 16 sı % +2.5 in altında ve % 16 sı % -0.5 in üstünde). Deneylerin % 50 si % +1.5 ve % +0.5 arasında olmalıdır.

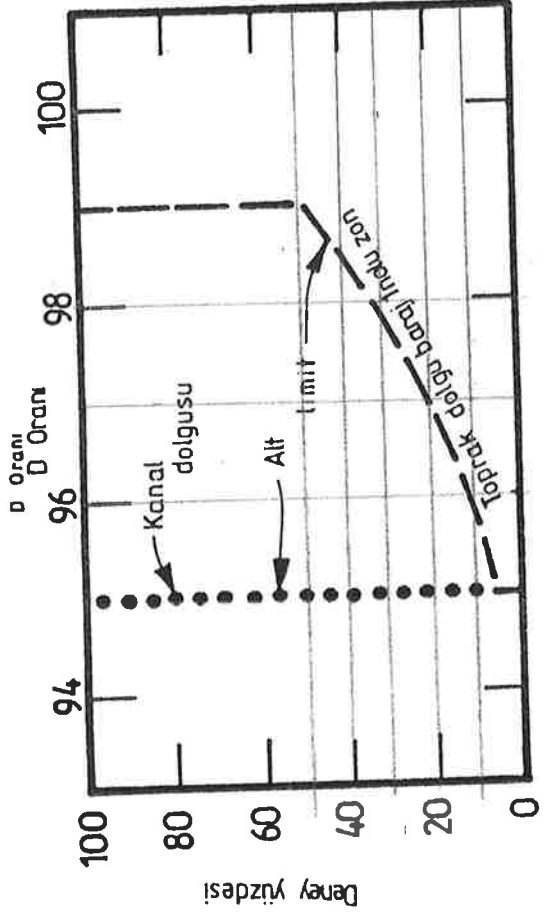
ÖRNEK 17

Soru: Bir aylık çalışma dönemini ihtiva eden D oranları aşağıda verilmektedir. Kontrol kriterleri ise aşağıdaki gibidir.

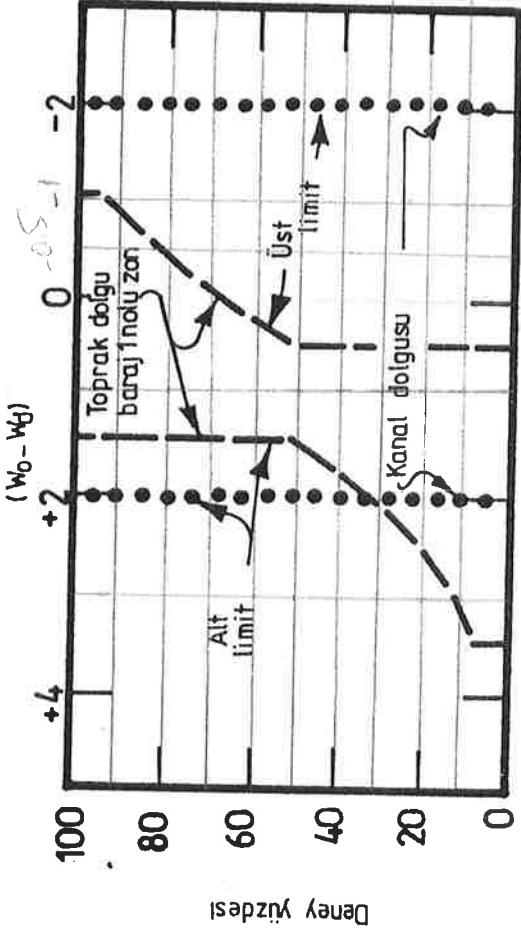
en düşük kabul edilebilir D = % 95

% 80 i % 96 nın üstünde olmalı

ortalama = % 100 veya daha büyük



Sekil 11. Birim ağırlık limitleri



Şekil 12. Dolgu su muhtevası limitleri

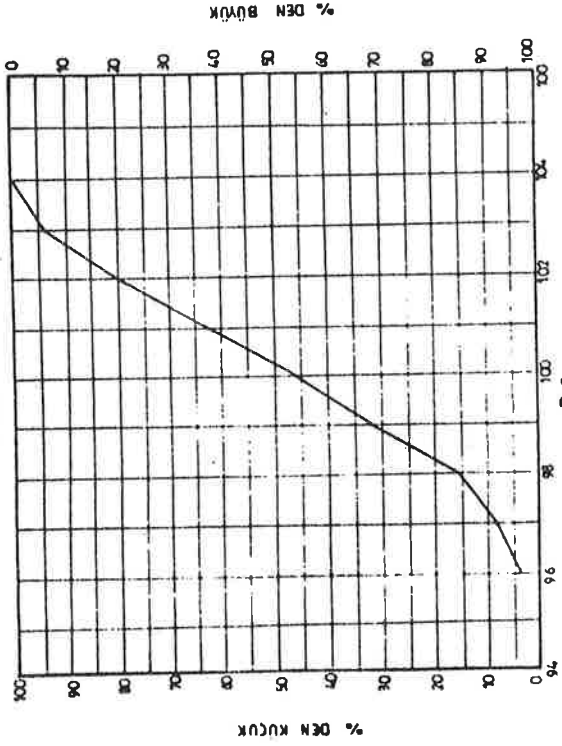
D Oranı, %				
101.4	101.2	97.3	102.6	98.3
99.4	96.8	98.1	99.2	100.6
96.6	98.6	103.2	97.4	101.3
103.0	100.4	102.9	100.2	95.6
97.7	102.6	99.5	98.3	97.8
101.2	103.8	100.0	101.7	100.9
100.5	99.4	95.4	101.6	102.3
102.5	98.9	101.8	99.2	98.7
98.9	102.0	101.2	100.8	99.7
101.6	99.7	102.1	98.5	100.7

- a) Kontrol kriterlerini sağlayan değerleri, yoğunluk denetim çizelgesine işleyiniz ve gerekli hesaplamaları yapınız?
- b) D=% 101.0 veya daha üstüne karşılık gelen deneylerin toplama göre yüzdesi nedir?
- c) D = % 98.0 - 99.9 arasındaki deneylerin yüzdesi nedir?
- d) Eğer ortalama dolgu kuru birim ağırlığı 1.87 t/m^3 ise, ortalama laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığı ne olmalıdır?
- Çözüm:
- a) Değerlerin hiçbirisi % 95 in altında değil ($D > \% 95$)
 evet, 50 değer in 48 i % 96 nin üzerinde
 evet, ortalama D = % 100.0

TOPRAK KONTROL İŞ KAĞIDI KURU BİRİM AĞIRLIK KONTROLÜ											
ÖRNEK Barajı		Toprak İsi Kontrol Devresi				Zon 1					
BU PERİOD						BU YARIYE KADAR					
YUKUBULMA TEKERRÜRÜ / T /						Tn	10PL	10PL	Tn	10PL	10PL
						Tn	Tn	%	Tn	Tn	%
85.0 - 86.9											
87.0 - 87.9											
88.0 - 88.9											
89.0 - 89.9											
90.0 - 90.9											
91.0 - 91.9											
92.0 - 92.9											
93.0 - 93.9											
94.0 - 94.9											
95.0 - 95.9	II					2	2	4			
96.0 - 96.9	II					2	4	8			
97.0 - 97.9	III					4	8	16			
98.0 - 98.9	III	II				8	16	32			
99.0 - 99.9	III	II				7	23	46			
100.0 - 100.9	III	II				8	31	62			
101.0 - 101.9	III	III				9	40	80			
102.0 - 102.9	III	III				7	43	86			
103.0 - 103.9	III					3	60	100			
104.0 - 104.9											
105.0 - 105.9											
106.0 - 106.9											
107.0 - 107.9											
108.0 - 108.9											
109.0 - 109.9											
110.0 - 110.9											
YERKÜN						30					
Ortalama max lab. kuru kesafeti						1.072					
Ortalama dolgu kuru kesafeti						1.810					
Max. laboratuvar kesafetinden düşüm ortalaması						0.002					
Ortalama kaya muhtevanı (No 4'ten büyük mız %'si)						24					

D = DOĞRU KURU BİRİM AĞIRLIK
 MAXİMUM LABORATUAR KURU BİRİM AĞIRLIĞI * 100
 (No 4'ten büyük mız kesim)

Örnek 17



Dolgu birim ağırlığı için kalite kontrol eğrisi

- b) % 38, 19 deneyin D oranı, 101.0 in üzerinde
 c) % 30, 15 deneyin D oranı, 98.0-99.9 arasında
 d) $\gamma_{kd} = 1.87 \text{ t/m}^3$ ortalama D = % 100.0

$$D = \frac{\text{Dolgu kuru birim ağırlığı}}{\text{Laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığı}} \times 100$$

$$\text{Laboratuvar en büyük kuru birim ağırlığı} = \frac{\text{dolgu kuru birim ağırlığı}}{D} \times 100$$

$$= \frac{100 \times 1.87 \text{ t/m}^3}{100.0}$$

$$= 1.87 \text{ t/m}^3$$

KAYNAKLAR

- [1] USBR,1974, Earth Manual:A Water Resources Technical Publication, Denver-Colarado, 810 sayfa.
- [2] ERTAN, Y., ve ÜLKÜ, S., 1978, Zemin Özellikleri ve Deneyleri (I): DSI Genel Müdürlüğü, Yayın no: 871, 208 sayfa.
- [3] USBR, 1979, Moisture-Density Relationship of Soils: Geotechnical Branch Training Manual No.1, Denver-Colorado, 50 sayfa.
- [4] USBR, 1976, Earthwork Construction Control: Geotechnical Branch Training Manual No:2, Denver-Colorado, 68 sayfa.
- [5] TOSUN, H., 1989, Laboratuvar Zemin Sınıflaması: DSI 18. Bölge Müdürlüğü, Yayın no: 1 Isparta, 55 sayfa.
- [6] USBR, 1987, Design of Small Dams: Bureau of Reclamation, Third Edition, Denver-Colorado, 860 sayfa.
- [7] DSI, 1986, Özel Teknik Şartname (Bölüm 2, 3, 4): DSI Genel Müdürlüğü Barajlar ve HES Dairesi Başkanlığı, Ankara, Bölüm 3.