

# تطابق انواع رسوبات در عمق کم (روشهای پیشنهادی در زمین شناسی)

پرویز میرچوپان  
(M. S.)

اسد ایران پناه  
(Ph. D.)

## مقدمه :

تحقیقات خاک و بررسی لایه های زیرزمینی در اعماق کم مدتها در طرحها و پروژه های مهندسی مورد توجه قرار گرفته و روز بروز مخصوصاً با پیشرفت علوم و عظمت پروژه های امروزی اهمیت آن بیشتر جلوه میکند.

اسروزه در کارهای مربوط بزمین شناسی و تطابق رسوبات در عمق کم و همچنین در کارهای از قبیل سدسازی - جاده سازی - تونل سازی - ساختمان پل و منابع آب و غیره تحقیقات خاک و بررسی لایه های کم عمق زیرزمینی کاملاً متداول و جزو مراحل اولیه و اساسی پروژه ها میباشد.

در اینگونه کارهای مهندسی اغلب جنس و خواص فیزیکی و شیمیائی لایه ها است که مورد توجه و مطالعه قرار میگیرد و بجز در موارد بسیار استثنائی سن لایه ها بطور مستقیم در پروژه های مهندسی نقشی ندارد ( مگر در مواقعی که بخواهند در تطبیق جنس لایه ها بطور غیر مستقیم از سن آنها استفاده نمایند ) . البته استفاده از سن لایه ها برای تطبیق جنس آنها بهیچوجه خالی از اشکال نیست .

تغییرات رخساره و کمبود یا نبود قسایل های مشخص در قشرهای نازک و رسوبات متغیری مثل رسوبات رودخانه ای از جمله اشکالات مزبور میباشد .

برای تعیین جنس رسوبات و تطبیق آنها و همچنین برای تهیه مقاطع زمین شناسی با در نظر گرفتن جنس لایه ها معمولاً به خصوصیات جنس لایه ها از قبیل رنگ و بافت و غیره توجه میگردد ولی خواص رسوبات بسیار زیاد و متنوع بوده و از این خواص بیشمار میتوان برای تطبیق و یا تعیین جنس رسوبات بطور دقیقتر و

به نحو احسن استفاده نمود. در این مقاله سریعترین و اقتصادیترین متدهای بررسی خصوصیات جنس رسوبات در چند مجموعه از رسوبات اعمال گشته و در تطبیق لایه ها از نتایج مربوطه استفاده شده است.

علاوه بر بافت و رنگ رسوبات مشخصات فیزیکی و شیمیائی بیشماری از رسوبات وجود دارد که بررسی آنها تعیین دقیق جنس لایه ها و تطبیق آنها را میسر میسازد. منظور از این مطالعه انتخاب و بکاربردن آن رشته از مشخصاتی است که اولاً بررسی و مطالعه آنها سریع و اقتصادی باشد و ثانیاً نتایج حاصله کاملاً دقیق و علمی بوده و عاری از هرگونه قضاوت شخصی باشد. در این مورد مخصوصاً رسوباتی در نظر است که در اعماق کمی از سطح زمین قرار دارد (در حدود ۶ - ۵ متری) و تطبیق آنها در مقیاسهای بزرگی (مقیاسهای عمودی ۱/۱۰ الی ۱/۱۰۰ و مقیاسهای افقی ۱/۵۰ الی ۱/۵۰۰۰) مورد لزوم است. بدیهی است چون مقاطع با مقیاس بزرگ تهیه میشود و جنس رسوبات متر به متر بررسی میگردد استفاده از فسیل در اینگونه موارد غیرممکن است. بدین ترتیب با اینکه اغلب روشهایی که در این مقاله از آنها استفاده شده است برای بررسی جنس رسوبات و تطبیق آنها از هر عمقی و با هر مقیاسی که باشد مورد استفاده است ولی هر چه قدر تطبیق جنس رسوبات در اعماق کمتر و با مقیاس بزرگتری صورت بگیرد همانقدر استفاده از فسیل ها غیر عملی تر بوده و بر اهمیت روشهای مزبور افزوده میگردد و برعکس. ضمناً در پروژه هایی که احتیاج به تطبیق جنس رسوبات در اعماق کم میباشد معمولاً بودجه های نسبتاً کمتری موجود است و بنابراین باید روشهایی بکار رود که احتیاج به زمان و بودجه کمی دارد.

در این مقاله جنس رسوبات کم عمق منطقه ای از اصفهان بررسی و تطبیق گردیده است که در ذیل شرح داده میشود.

### الف - بررسی و تطبیق انواع رسوبات در منطقه اصفهان

در پروژه شهر جامع اصفهان برای احداث ساختمانهای جدید در خارج از شهر، مهندسین پروژه برای محاسبه حداکثر بار مجاز پایه ها و پیش بینی نشست احتمالی ساختمانهای احداث شده در آینده احتیاج باطلاعات دقیقی از جنس رسوبات اطراف اصفهان داشتند که از جمله میتوان نکات زیر را اسم برد:

- ۱ - تشریح نظری رسوبات مخصوصاً تفکیک شن و ماسه ولای و گل رس و تشخیص لایه ها
- ۲ - ضخامت لایه ها و حدود عرضی آنها.
- ۳ - استحکام لایه ها: حداکثر باری از پایه ها که باعث برش لایه ها و ایجاد گسل های کوچک در آنها نخواهد بود (مقاومت برشی لایه ها).
- ۴ - امکان نشست لایه ها تحت بارهای مختلف
- ۵ - خصوصیات دقیق جنس رسوبات از نظر مکانیکی تا حد امکان
- ۶ - سطح آب زیرزمینی

## ۷ - مناسب‌ترین منطقه برای احداث ساختمان از نظر جنس رسوبات

منطقه مورد مطالعه در شکل ( ۱ ) داده شده است - بعلت هموار بودن سطح زمین از خطوط میزان صرف نظر شده و سطح زمین کاملاً هموار و افقی فرض شده است. ماهیت کار پروژه عمق تحقیقات را در صورت وجود شن و ماسه تا حدود ۲ متر و در صورت وجود گل رس تا حدود ۴ متر ایجاب می‌کرد. برای این منظور و با توجه به تغییرات سریع خواص مکانیکی رسوبات ۱ حلقه چاه بعمق‌های مختلف به ترتیب حفاری گردید. محل چاه‌ها در شکل (۱) داده شده است. حفاری با دستگاه ضربه‌ای صورت گرفت و از اعماق مختلف چاه ( تقریباً از هر یک متر ) نمونه برداری گردید. نمونه‌ها دو نوع بود: نمونه‌های دست نخورده و نمونه‌های دست خورده. نمونه‌های دست نخورده نمونه‌هایی بود که با استفاده از مغزه‌ها طوری تهیه و به آزمایشگاه حمل شدند که ساختمان طبیعی آنها ( از جمله رطوبت و بافت آنها ) حفظ گردید. نمونه‌های دست خورده نمونه‌هایی بود که تهیه و حمل آنها راحت‌تر بود ولی قبل از رسیدن به آزمایشگاه، بافت و احیاناً رطوبت طبیعی آنها تغییر می‌کرد. از نمونه‌های دست خورده قرار شد برای آزمایش‌هایی استفاده گردد که نتایج آنها به شکل و اندازه و جنس ذرات رسوبات بستگی دارد نه به بافت رسوبات. در صورت لزوم باسانی می‌توانستیم در آزمایشگاه نمونه‌های دست خورده را به رطوبت طبیعی برسانیم.

آزمایشاتی که بر روی نمونه‌ها انجام گرفت به شرح زیر است:

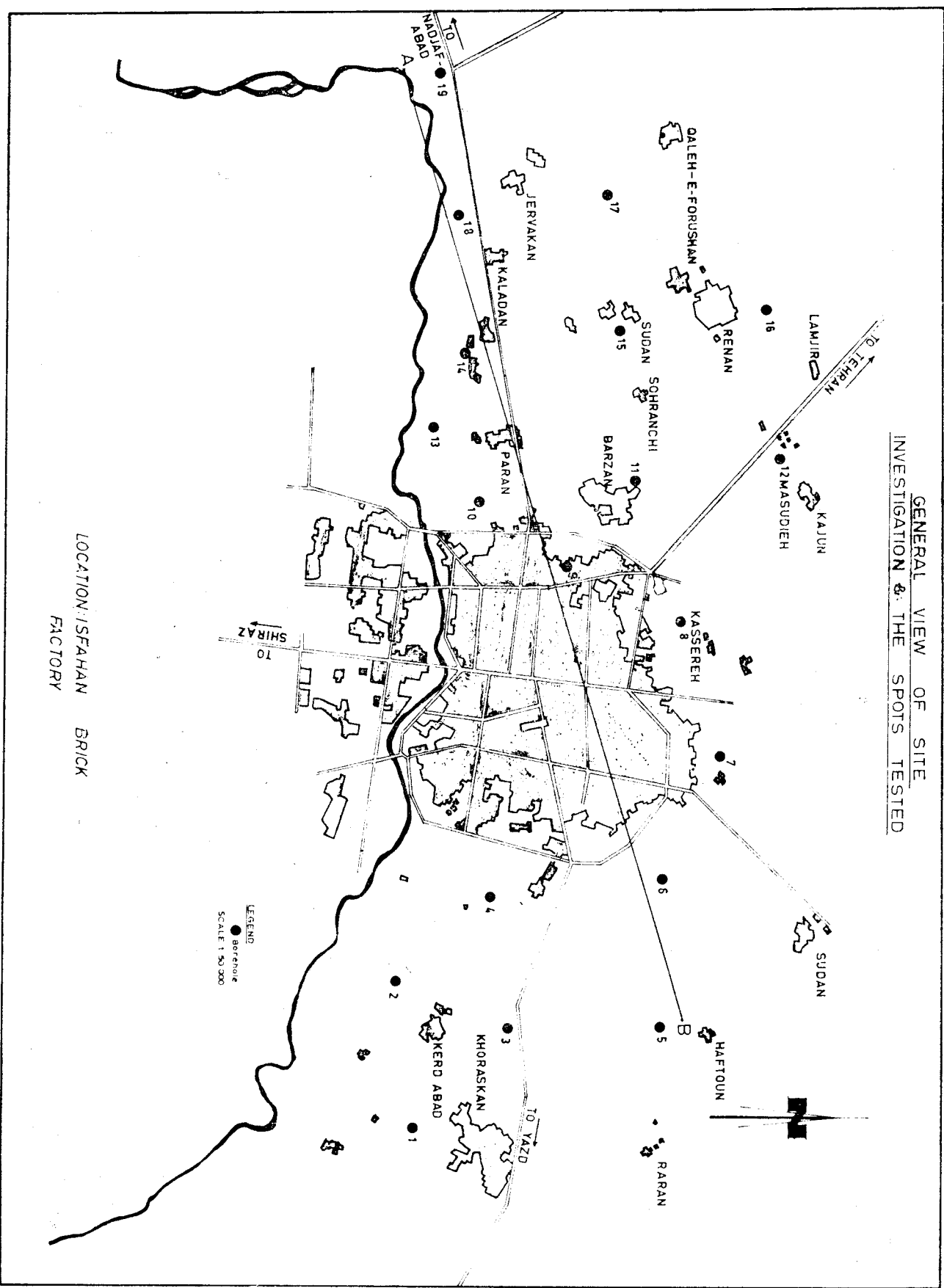
۱ - آزمایش دانه بندی ۲ - رطوبت طبیعی ۳ - حد روانی ۴ - حد خمیری ۵ - وزن واحد حجم

۶ - آزمایش تک محوری ۷ - آزمایش ضربه‌ای در سحلی که به ترتیب ذیلاً بحث میشود.

### ۱ - آزمایش دانه بندی

برای تعیین اندازه ذرات رسوبات هر نمونه با اندازه ۲ کیلو در مورد شن و ماسه و با اندازه ۵۰۰ گرم در مورد ماسه ریز و لای و گل رس انتخاب کرده و آن را از یک سری الک‌های استاندارد عبور دادیم. سپس وزن مقادیری از نمونه که در روی هر کدام از الک‌ها مانده بود و بعلت درشتی از الک معینی رد نشده بود تعیین کرده و نسبت بوزن اولیه کس نمونه بصورت درصد حساب نمودیم. باین ترتیب معلوم گردید که چند درصد وزنی نمونه از کدام الک رد شده و بر روی کدام الک سی ماند و چون الک‌ها بطور متوالی از درشت به ریز چیده شده بود درصد وزنی اندازه‌های مختلف ذرات براحتی مشخص گردید. مثلاً اگر از هزار گرم نمونه صد گرم بین الک‌های ۳ اینچ و ۲ اینچ باقی مانده باشد معلوم می‌گردد که ۱ درصد وزنی ذرات رسوب ریزتر از ۳ اینچ و درشت‌تر از ۲ اینچ میباشد ( شکل ۲ ). با این متد درصد وزنی دانه‌ها در ستون عمودی و اندازه دانه‌ها در ستون لگاریتمی افقی نشان داده شده و برای هر نمونه یک منحنی دانه بندی تهیه گردید. در مورد مصالحی که دانه‌های ریزتر از ۰.۷۵ میلی‌متر بمقدار زیاد داشتند ( گل رس و لیمون ) از متد هیدرومتری استفاده گردید. بدین ترتیب که در حدود ۴ گرم از نمونه بخوبی خیسانده شده و با استفاده از هگزامتافسفات و آب اکسیژنه دانه‌های گل رس از هم مجزا گردید و سپس نمونه در یک سیلندر مدرج یک لیتری قرار گرفته آب بدان اضافه شد تا حجم محلول به یک لیتر برسد. پس از اینکه محلول مزبور خوب تکان

GENERAL VIEW OF SITE  
INVESTIGATION & THE SPOTS TESTED



LOCATION: SFAHAN BRICK  
FACTORY

LEGEND  
● SPOTS  
○ BORDER  
SCALE 1:50,000

## PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

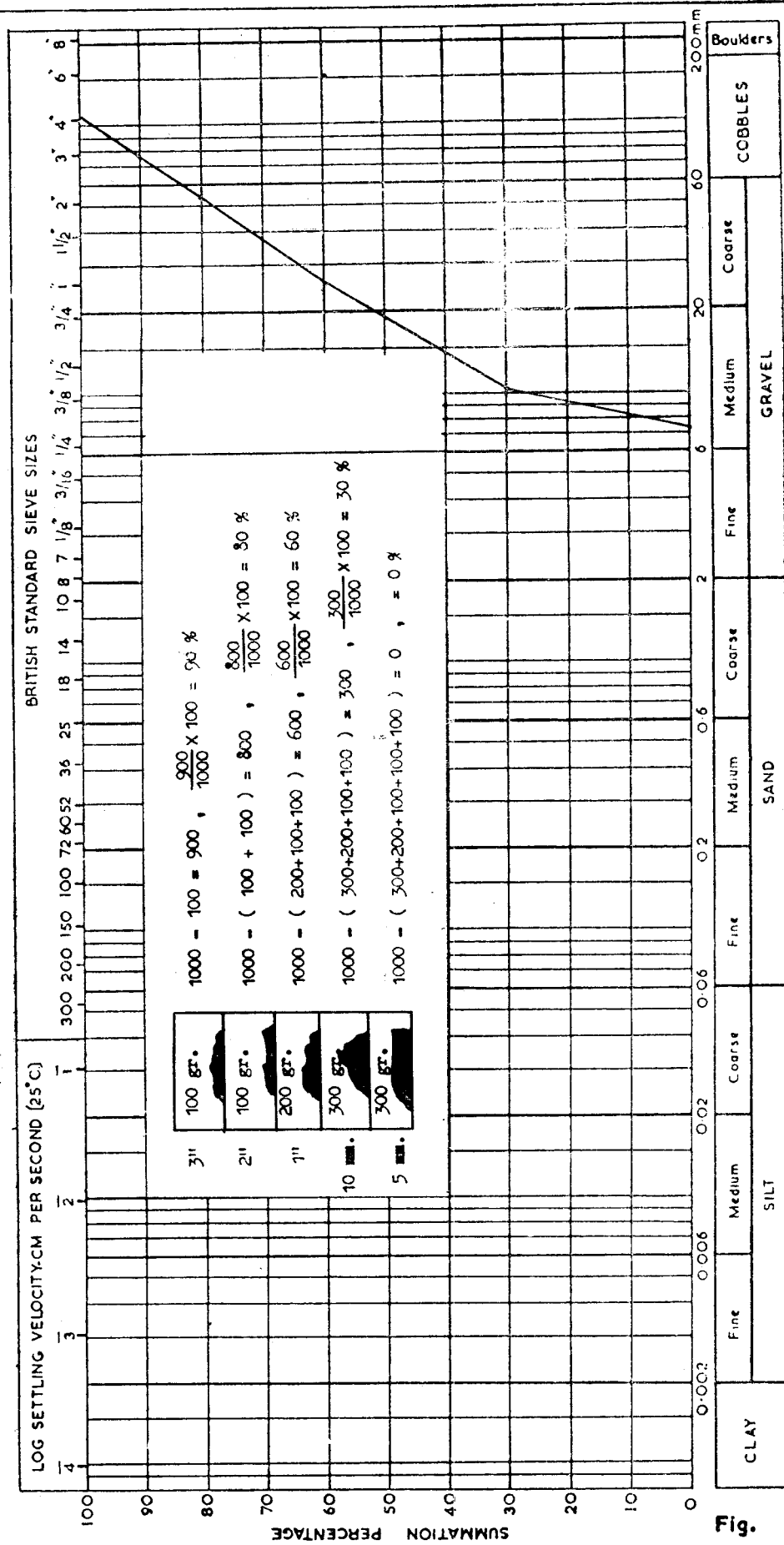


Fig.

داده شد برای مدتی میلندر حاوی محلول بحالت آرام درسکوئی افقی قرارگرفت و در زمانهای مختلف چگالی محلول با استفاده از غلظت سنجی قرائت گردید. با توجه باینکه دانه های درشت تر سریعتر نشست میکند و رفته رفته غلظت محلول کمتر میگردد و باتوجه به قانون Stokes اندازه ذرات و درصد وزنی آنها به ترتیب از فورمولهای زیر محاسبه گردید:

$$D = K\sqrt{z/t}$$

$$N = F \cdot \frac{r - r_w}{W_s}$$

که در آن:

$K, F =$  ارقاسی ثابت است که بستگی به درجه حرارت و جنس ذرات خاک و حجم محلول دارد

$z =$  عمقی که در آن چگالی محلول قرائت شده

$t =$  زمان قرائت چگالی محلول

$r =$  رقم خوانده شده در روی چگالی سنج در محلول

$r_w =$  رقم خوانده شده در روی چگالی سنج در آب

$W_s =$  وزن خاک اولیه ( . ۴ گرم )

نمونه محاسبه دانه بندی در شکل (۲) و انواع دانه بندیهای که به شرح فوق از نمونه های اصفهان تهیه شده در اشکال (۳، ۴ و ۵) نشان داده شده است. در این شکل ها بجای اینکه دانه بندی هر نمونه در یک صفحه مجزا و یا یک منحنی نمایش داده شود، منحنی دانه بندی نمونه های مشابه در روی یک صفحه ترسیم گردیده است و در قسمت پائین منحنی ها در مقیاس افقی اندازه ذرات بمیلیمتر داده شده است و در بالای صفحه در مقیاس افقی همان اندازه ها برحسب اینچ داده شده است. در مورد مواد ریز بجای اندازه دانه ها برحسب اینچ شماره استاندارد الک های انگلیسی بکار برده شده، مشخص گردیده است. در پائین ترین قسمت شکل، طبقه بندی رسوبات از نظر دانه بندی طبق روش استاندارد انگلیسی داده شده است. با توجه به شکل های (۳، ۴) براحتی میتوان گفت که در محوطه مزبور در اعماق نمونه برداری بطور کلی دو نوع مصالح عمده از نظر دانه بندی بچشم میخورد:

۱ - مصالح شن و ماسه ای

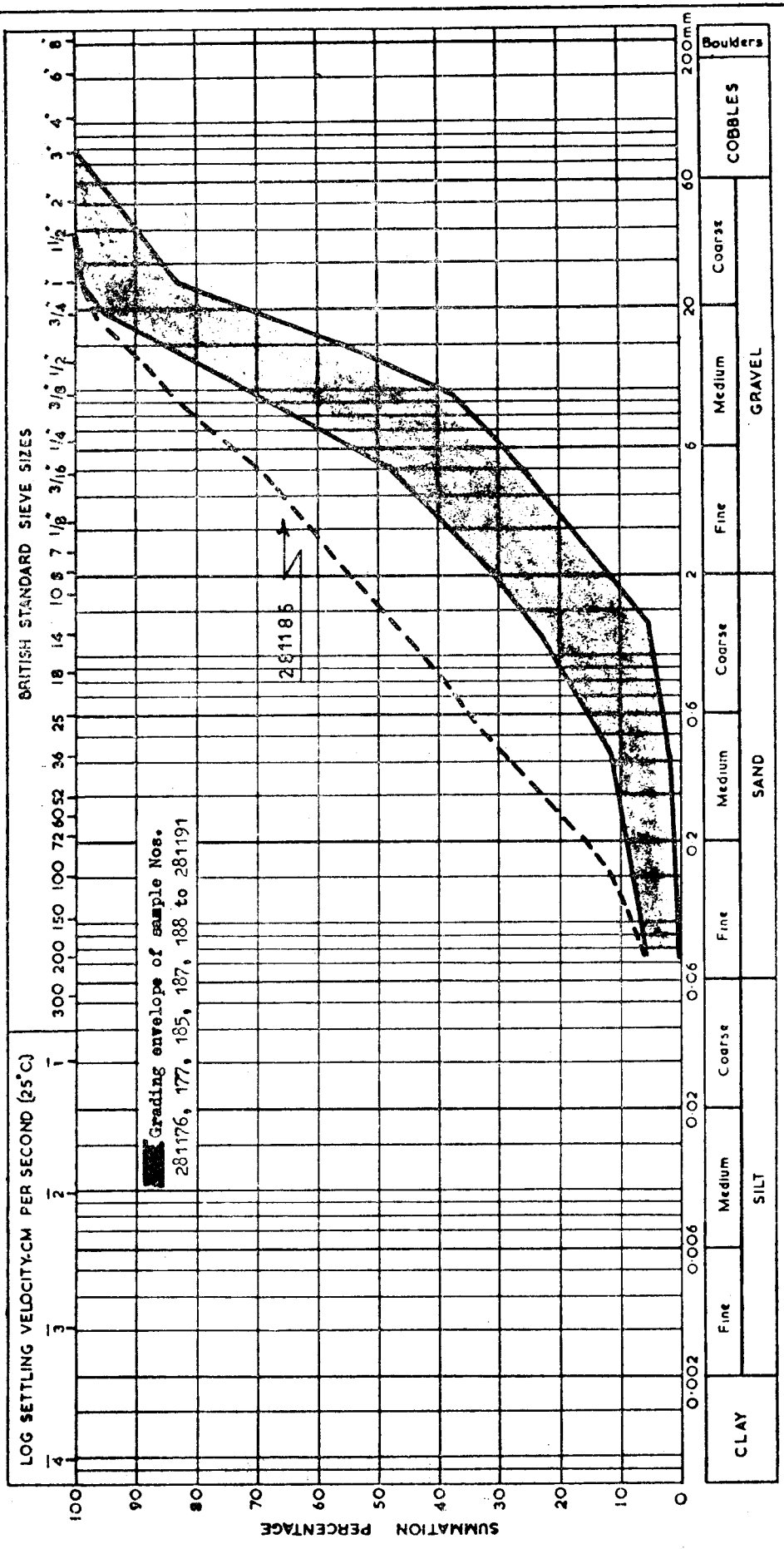
۲ - لای شامل گل رس و ماسه ریز.

ولی بایستی این نتیجه گیری با آزمایشات دیگر نیز تأیید گردد و ضمناً یکنواختی مصالح مزبور از نظر سایر مشخصات فیزیکی نیز معین گردد و احیاناً پودر سنگ آهک که از نظر اندازه ذرات بصورت لای مشخص شده است از ذرات هم اندازه سیلیکاتی تفکیک شود و یا ماهیت ذراتی که فقط از نظر اندازه جزو گل رس ها طبقه بندی شده است مشخص شود.

LOCATION: Isfahan

**PARTICLE SIZE DISTRIBUTION**

B.H. 13

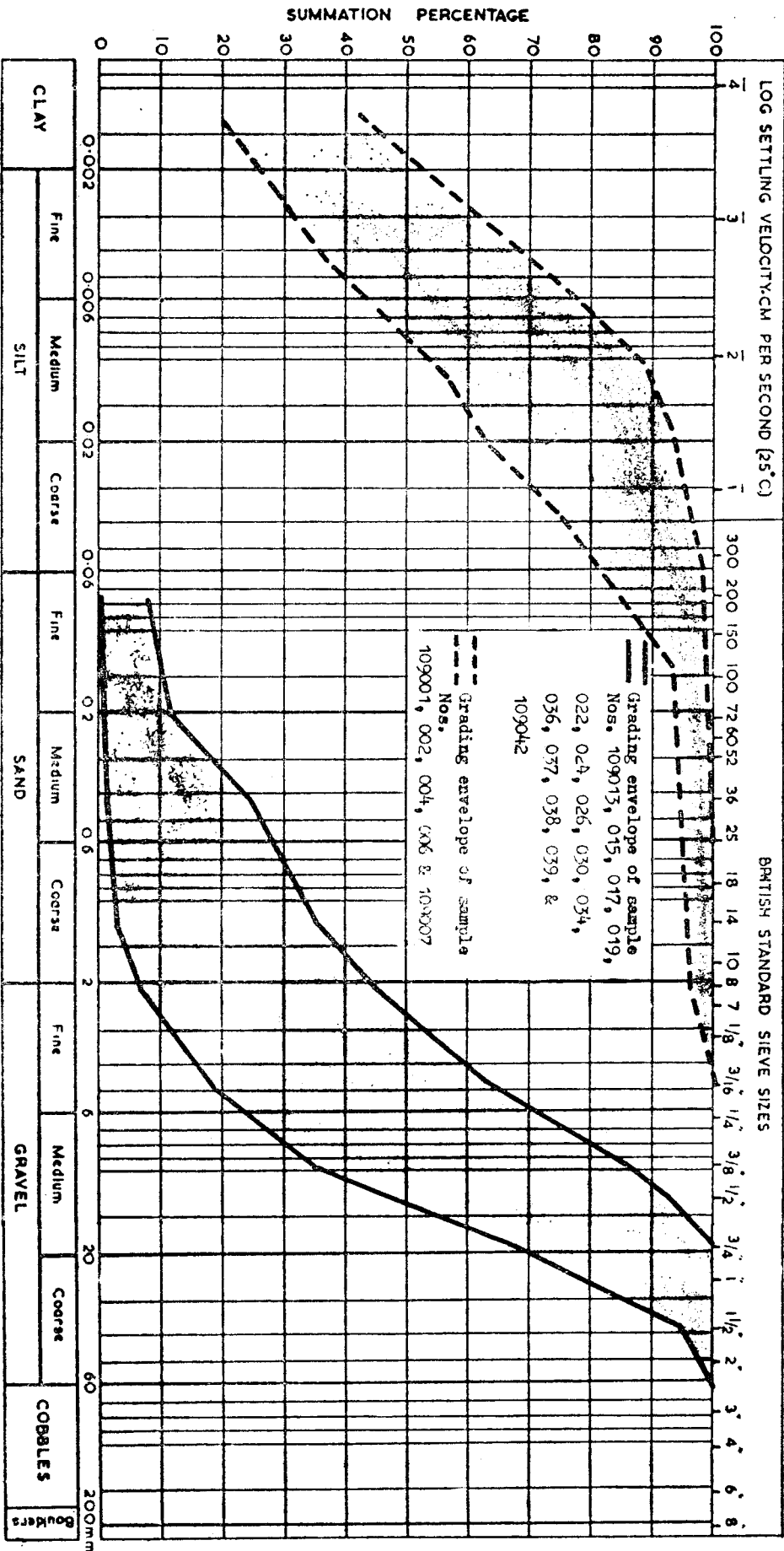


شکل ۳ - دانه بندی مصالح چاه شماره ۱۳ اصفهان

PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

B.H. 6

LOCATION: Istahan



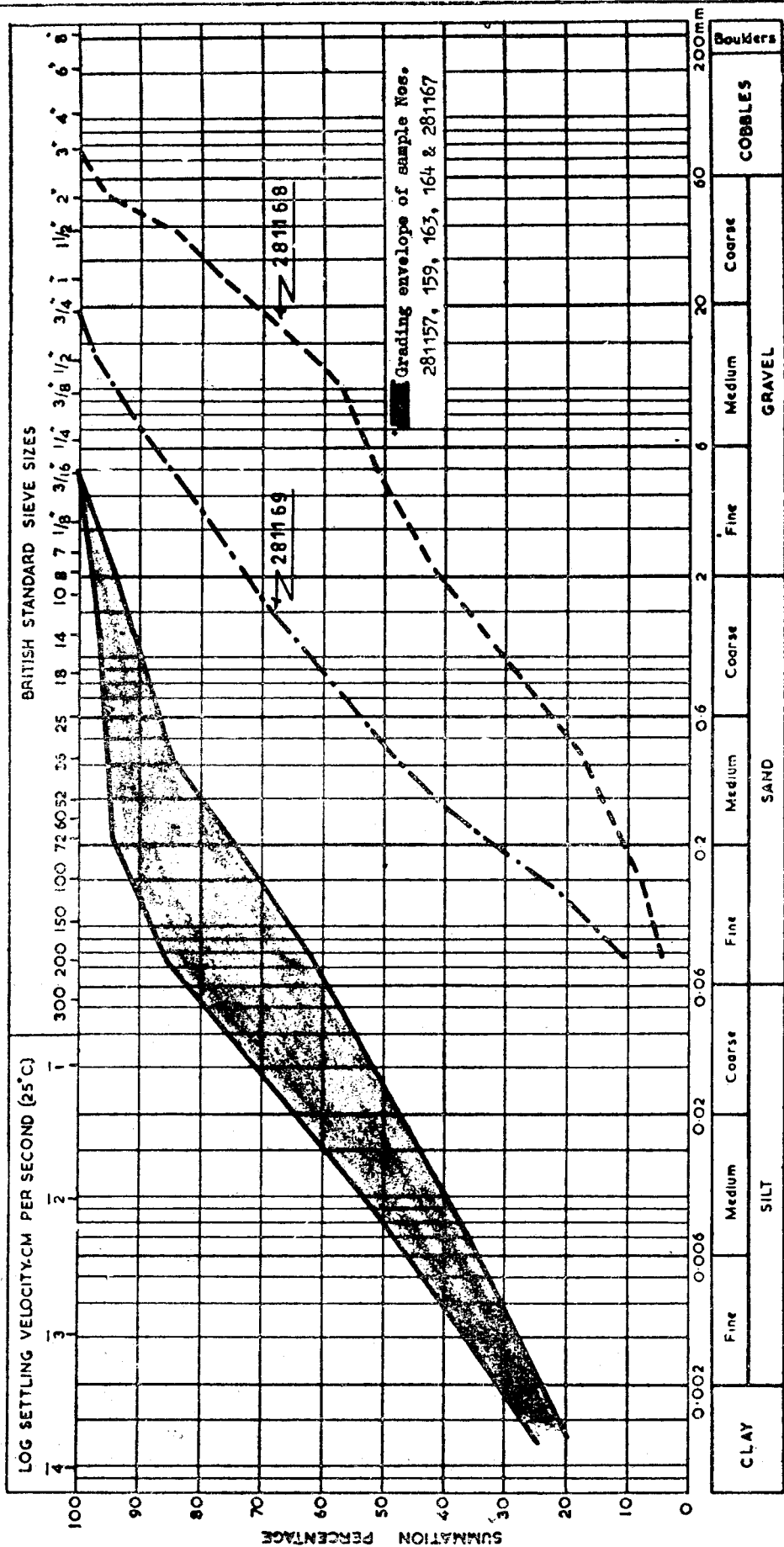
شکل ۴ - دانه بندی مصالح جاده شماره ۱۴ اصفهان



LOCATION: Isfahan

PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

B.H. 14



شکل ۰ - دانه بندی مصالح چاه شماره ۶ اصفهان

## ۲- رطوبت طبیعی

برای تعیین رطوبت طبیعی از نمونه‌هایی استفاده گردید که بلافاصله پس از نمونه‌گیری دور آنها موم گرفته شده بود تا از تبخیر رطوبت آنها جلوگیری شود. در آزمایشگاه نمونه موم گرفته شده را شکسته و از قسمت وسط یک مقدار از مصالح انتخاب و بلافاصله وزن گردید (A). سپس نمونه تا حصول وزن ثابت (تقریباً برای مدت ۲۴ ساعت) در حرارت  $2 \pm 110$  درجه سانتیگراد قرار گرفت. وزن نمونه پس از خشک شدن B با دقت معین گردید و در نتیجه درصد وزنی رطوبت طبیعی نمونه از فرمول زیر باسانی بدست آمد:

$$m = \frac{A - B}{B} \times 100$$

برای جلوگیری از سوختن مواد آلی احتمالی رسوبات و همچنین از دست رفتن آبهای کریستالیزه کانی‌ها درجه حرارت در تمام مدت آزمایش طبق استاندارد از  $112$  درجه تجاوز ننمود. نتایج مربوطه در اشکال (۶ و ۷) نمایش داده شده است.

## ۳- حد روانی

اگر به خاک آب کافی اضافه شود خاک حالت روانی پیدا میکند یعنی حالت مایعات. حداقل مقدار آب لازم برای اینکه خاک بحالت روانی برسد در اینجا حد روانی خاک نامیده میشود. با توجه باینکه حد روانی رسوبات مختلف باهم متفاوت است از نتایج حاصله برای تعیین جنس رسوبات استفاده گردید. معمولاً حد روانی اغلب گل‌رסהا بسیار زیاد و حد روانی ماسه‌ها خیلی کم و حد روانی لای متوسط است. برای تعیین حد روانی در حدود ۲۰۰ گرم از نمونه  $2/4$  میلی‌متر را خوب خیس کرده و برای ۲۴ ساعت آنرا بحالت خیس نگهداشتیم تا رطوبت بخوبی به تمام خاک بطور یکنواخت جذب شود. سپس نمونه را با استفاده از کاردک بخوبی هم‌زده و در داخل کاسه کوچک پرنجی استاندارد قرار دادیم. بلافاصله با کاردک مخصوصی سطح نمونه را صاف نموده و با استفاده از کاردک مخصوص دیگری در امتداد قطر کاسه شیار در خاک بوجود آوردیم که عرض و عمق آن تقریباً در حدود یک سانتیمتر است و در مقطع عرضی شیار بشکل  $v$  میباشد.

ضخامت رسوب نیز در کاسه در حدود یک سانتیمتر است بطوریکه در قاعده شیار کف کاسه دیده میشود. بعداً با استفاده از دستگاه ساده‌ای کاسه را در ثانیه دومرتبه از ارتفاع تقریباً یک سانتیمتر بحالت آزاد سقوط داده و بعد از چندین ضربه که شیار در امتداد نیم اینچ بهم‌آمد آزمایش را قطع و تعداد ضربات را یادداشت کردیم سپس مقداری از نمونه را برای تعیین رطوبت درصد آن برداشتیم. این آزمایش چندین بار با رطوبتهای مختلفی از رسوب تکرار گردید بطوریکه در هر آزمایش بعلاوه اختلاف رطوبت ضربات مختلفی لازم

# BOREHOLE LOG.

BOREHOLE No. 13

DATE OF BORING: 12.4.47 - 19.6.47

LOCATION: Isfahan Brick Factory

Sym. Log No.	Lab. No.	Lab. Description	Soil Type	Moisture Content %		Unit Wet Weight gr/cm <sup>3</sup>	Blows per 30 cm penetration for Raymond sampler or point and blows on U <sub>6</sub> sampler for 45 cm penetration.		Cone Resistance kg/cm <sup>2</sup>	Shearing Resistance Angle °
				Liquid Limit	Plastic Limit		U <sub>6</sub> Sampler	Raymond Sampler		
281171	72	Gr. clayey silty sand	○				20			
281173	74	Gr. clayey sandy silt	○				30			
281175			○				40			
281176		Gr. sandy gravel	○				45			
281177		Gr. sandy gravel	○				40			
281178	79, 80	Gr. sandy clayey silt	○				30			
281181	82	Gr. clayey silty sand	○				45			
281183	84	Gr. clayey silty sand	○				50			
281185		Gr. sandy gravel	○				30			
281186		"	○				30			
281187		"	○				30			
281188		"	○				30			
281189		"	○				30			
281190		"	○				30			
281193		"	○				30			

○ Disturbed sample  
 ○ Undisturbed sample  
 ○ Water sample

III Ground level  
 II Water level  
 I Rock level

Clay  
 Silt  
 Sand  
 Gravel

Sandstone  
 Rock

L. Light  
 D. Dark  
 S. for a Group  
 M. for a Group

f. e. Fine  
 m. e. Medium  
 c. e. Coarse

s. e. Soft  
 m. e. Medium stiff  
 s. e. Stiff

T. U.

بود تا شیار نمونه در امتداد نیم اینچ هم بیاید. هر دفعه ضربات لازم یادداشت گردید و رطوبت نمونه تعیین شد. سپس در روی محور عمودی رطوبت را با مقیاس ریاضی ساده و در روی محور افقی ضربات را با مقیاس لگاریتمی نشان دادیم. منحنی حاصله از نتایج آزمایش همیشه خطی است و با استفاده از منحنی دقیقاً معلوم گردید که برای هر نمونه چه رطوبتی لازم است تا شیار نمونه پس از ۲۰ ضربه بمقدار نیم اینچ بهم بیاید. این رطوبت اخیر که از روی منحنی مزبور تهیه میگردد طبق تعریف عبارتست از حداقل رطوبتی که لازم است رسوب مزبور را بحالت روانی برساند. بعبارت دیگر بدین ترتیب حدروانی نمونه معلوم گردید. باین ترتیب نمونه‌هایی که حد روانی مشابهی دارند با هم مقایسه خواهند بود.

#### ۴ - حد خمیری یا حد پلاستیسیته

بعضی خاکها مثل گل رسها وقتی کمی خیس میخورند حالت شکل پذیری پیدا مینمایند بطوریکه میتوان آنها را بفرمهای مختلف درآورد. درحالیکه این خاصیت در بعضی رسوبات دیگر مثل ماسه‌ها وجود ندارد و در لای‌ها کم است. بنابراین میشود از این خصوصیات رسوبات نیز برای تشخیص و تطبیق انواع آنها استفاده نمود. حد خمیری رسوبات عبارتست از حداقل آب لازم برای بوجود آوردن حالت خمیری در رسوبات.

برای تعیین حد خمیری رسوبات آزمایش استاندارد ساده‌ای پیروی گردید. بدین ترتیب که پس از اضافه کردن مقداری آب به رسوبات خوب آنرا هم زده و مدتی فرصت داده شد تا رطوبت بخوبی در تمام نقاط آن بطور یکنواخت جذب شود. سپس نمونه را در روی شیشه‌ای با حرکت دست بآرامی غلطانیدیم به نحوی که نمونه در زیر دست بصورت لوله یا فتیله درآید. دست بایستی مثل غلطک بدون اینکه فشار قابل ملاحظه‌ای روی نمونه بیاورد بجلو و عقب برده شود. طبق تعریف، خاک وقتی بحد خمیری میرسد که نتوان آنرا بصورت فتیله‌های نازک‌تر از  $1/8$  اینچ درآورد و بمحض اینکه فتیله‌ها از اندازه مزبور کوچکتر شود نمونه ترک برداشته و خرد شود. وقتی نمونه باین وضع رسید درصد رطوبت آنرا تعیین کرده و بصورت حد خمیری رسوب یادداشت نمودیم.

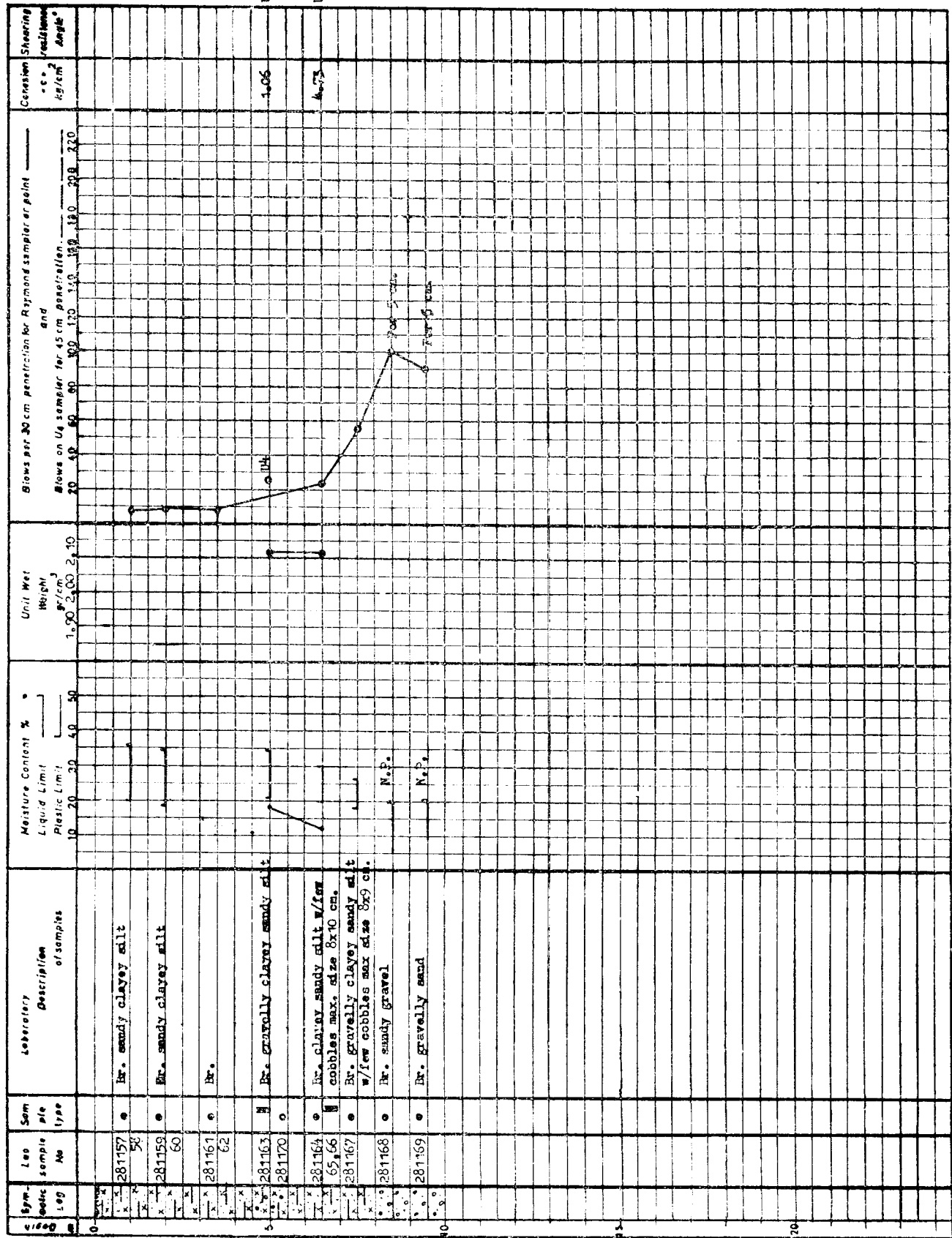
#### ۵ - وزن واحد حجم

وزن خشک هر سانتیمتر مکعب رسوباتی که بافت و جنس ذرات مشابه دارد با هم برابر است. بنابراین وزن واحد حجم رسوبات در تشخیص و تطبیق نوع آنها ارزش قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. برای تعیین وزن واحد حجم رسوبات نمونه‌های دست نخورده‌ای که بافت و رطوبت آنها بحالت طبیعی حفظ شده بود انتخاب گردید. لوله‌های کوتاه برنجی لبه تیز که ابعاد آنها دقیقاً معلوم است به آهستگی در داخل نمونه‌های مزبور فروگردید و پس از اینکه لوله کاملاً از نمونه پر شد سطح نمونه در سروته لوله بخوبی صاف گردید و

# BOREHOLE LOG.

BOREHOLE No 14  
DATE OF BORING: 5-3-47 - 11-4-46

LOCATION: Isfahan Brick Factory



● Disturbed sample  
 ○ Undisturbed sample  
 ○ Water sample  
 X Ground level  
 □ Water level  
 X Rock level  
 (Cl) Clay  
 (S) Silt  
 (G) Gravel  
 (Sa) Sand  
 (Gr) Gravel  
 (R) Rock  
 (Ss) Sandstone  
 (H) Rock  
 (L) Light  
 (D) Dark  
 (Gr) Gray  
 (Br) Brown  
 (F) Fine  
 (M) Medium  
 (C) Coarse  
 (S) Soft  
 (M) Medium stiff  
 (St) Stiff

سیس وزن لوله و رسوب باهم معین شد و چون وزن لوله خالی معلوم است وزن رسوب داخل لوله معین شد (W). اگر حجم لوله را که ابعاد مشخصی دارد V فرض کنیم وزن تر واحد حجم رسوب  $D_w$  برابر است

$$D_w = \frac{W}{V} \quad \text{با:}$$

چون رطوبت طبیعی نمونه ها (m) قبلاً تعیین گردیده بود باسانی وزن خشک واحد حجم رسوب D با استفاده از فرمول زیر بدست آمد.

$$D = \frac{D_w}{100 + m} \times 100$$

## ۶ - آزمایش تک محوری

برای تعیین اینکه لایه رسوبی تحت چه باری ممکن است بشکند و ایجاد گسل های ریز و درشتی بکند این آزمایش بر روی نمونه های دست نخورده انجام گردید. از نمونه دست نخورده با استفاده از لوله های لبه تیز برنجی سیلندرهائی بقطر ۱/۵ اینچ و بارتفاع سه اینچ تهیه گردید. این نمونه ها در زیر دستگاه بخصوصی طوری تحت بار عمودی قرار گرفتند که در هر دقیقه دودرصد طول نمونه تحت فشار کوتاه تر میگردید مقدار نیرو بتدریج اضافه میشد تا اینکه نمونه ها تحت نیروی معینی به یکی از سه حالت زیر درآمد:

الف - نمونه در امتداد صفحه ای که تحت زاویه مشخص نسبت به محور عمودی نمونه قرار داشت شکست. زاویه صفحه مزبور در نمونه های مختلف متفاوت بوده و در هر آزمایش یادداشت میگردید. این زاویه بطور کلی در نمونه ها بین ۳۰ تا ۶۰ درجه تغییر میکرد.

ب - نمونه به شکل بشکه ای درآمد و آزمایش موقعی قطع گردید که ۱۰ درصد از طول نمونه تحت فشار کوتاه شده بود.

پ - نمونه حالتی شبیه حالت ۱ و ۲ بالا بود بدین معنی که هم بصورت بشکه درآمد بود و هم ترکهای متعددی تقریباً موازی هم، تحت زاویه ای نسبت به محور عمودی در نمونه بچشم میخورد و نیروی لازم برای شکستن نمونه رو به تقلیل بود.

طبق تعریف نیروی لازم برای ایجاد یکی از حالات فوق در نمونه مقاومت فشاری یا (Compressive strength) نمونه میباشد و چون نیرو فقط در یک جهت عمودی به نمونه وارد میآید آزمایش تک محوری نامیده شد. البته با توجه باینکه نمونه ها از اعماق مختلف تهیه شده است و در حالت طبیعی تحت فشار همه جانبه معینی قرار دارد میتوانستیم با در نظر گرفتن عمق نمونه برداری (ضخامت قشر رسوبات فوقانی محل نمونه برداری) و با توجه بوزن واحد حجم رسوبات مزبور تعیین نمائیم که در حالت طبیعی نمونه تحت چه نیروی همه جانبه ای قرار دارد و در آزمایش فوق الذکر روی نمونه را با پلاستیک پوشانیده و نمونه را در داخل محوطه

شیشه‌ای قرار داده و بوسیله کمپرسور آب را تحت فشار لازم داخل محوطه نمائیم بطوریکه نمونه تحت فشار همه‌جانبه مورد نظر قرار گیرد سپس بار عمودی بنمونه وارد کرده و آزمایش فوق‌الذکر را انجام دهیم. در اینصورت چون نمونه از سه محور  $\sigma_1$  و  $\sigma_2$  و  $\sigma_3$  تحت بار قرار گرفته است آزمایش را سه محوری مینامند و نتایج دقیقتری حاصل میشود ولی با توجه به ماهیت پروژه آزمایش سه محوری در روی اغلب نمونه‌ها معمول نگردید و بهمان آزمایش تک محوری اکتفا گردید. در آزمایش تک محوری مزبور طبق تعاریف نصف مقاومت فشاری نمونه مقاومت برشی نامیده میشود (البته بشرطی که نمونه در حالت اشباع باشد). مقاومت برشی نمونه علاوه بر جنس رسوب به شرایط آزمایش بستگی زیادی دارد که از جمله میتوان سرعت بار دادن و ابعاد نمونه مورد آزمایش را نام برد. از مقاومت برشی نمونه برای تعیین استحکام لایه‌ها استفاده میگردد. چون، عمق و سطح پایه‌های ساختمان و در نتیجه ابعاد قسمتی از رسوب که تحت بار قرار میگیرد با ابعاد نمونه مورد آزمایش فرق میکنند مقاومت برشی تعیین شده آزمایشگاه را باید با توجه به عمق و ابعاد پایه‌ها و سطح آب زیرزمینی تصحیح نمود چون تغییرات سطح آب زیرزمینی نیز ممکن است در کم و زیاد کردن رطوبت رسوب و یا اشباع شدن رسوب دخالت نموده و مقاومت برشی آنرا تغییر دهد.

#### ۷- آزمایش ضربه‌ای در محل

در موقع حفاری گاهی برای تعیین میزان سختی رسوبات آزمایش ضربه‌ای انجام میگردد. در این آزمایش بجای مته حفاری، مخروطی به انتهای لوله‌ها وصل میگردیم و ضربات استاندارد بوسیله مخروط به رسوب وارد میگردیم تعداد ضربات لازم برای اینکه مخروط مزبور ۳ سانتیمتر در رسوب نفوذ نماید یادداشت میگردید. هرچه در رسوب سخت‌تر بود تعداد ضربات بیشتر بود. ضربات بدین ترتیب وارد میشود که یک وزنه ۱۴ پوندی از ارتفاع ۳ اینچ بر روی میله‌های حفاری که در انتهای آنها مخروط فلزی بسته شده بود سقوط آزاد میکرد و ضربات مزبور بوسیله مخروط به رسوبات منتقل میگردد.

#### چگونگی بررسی نتایج

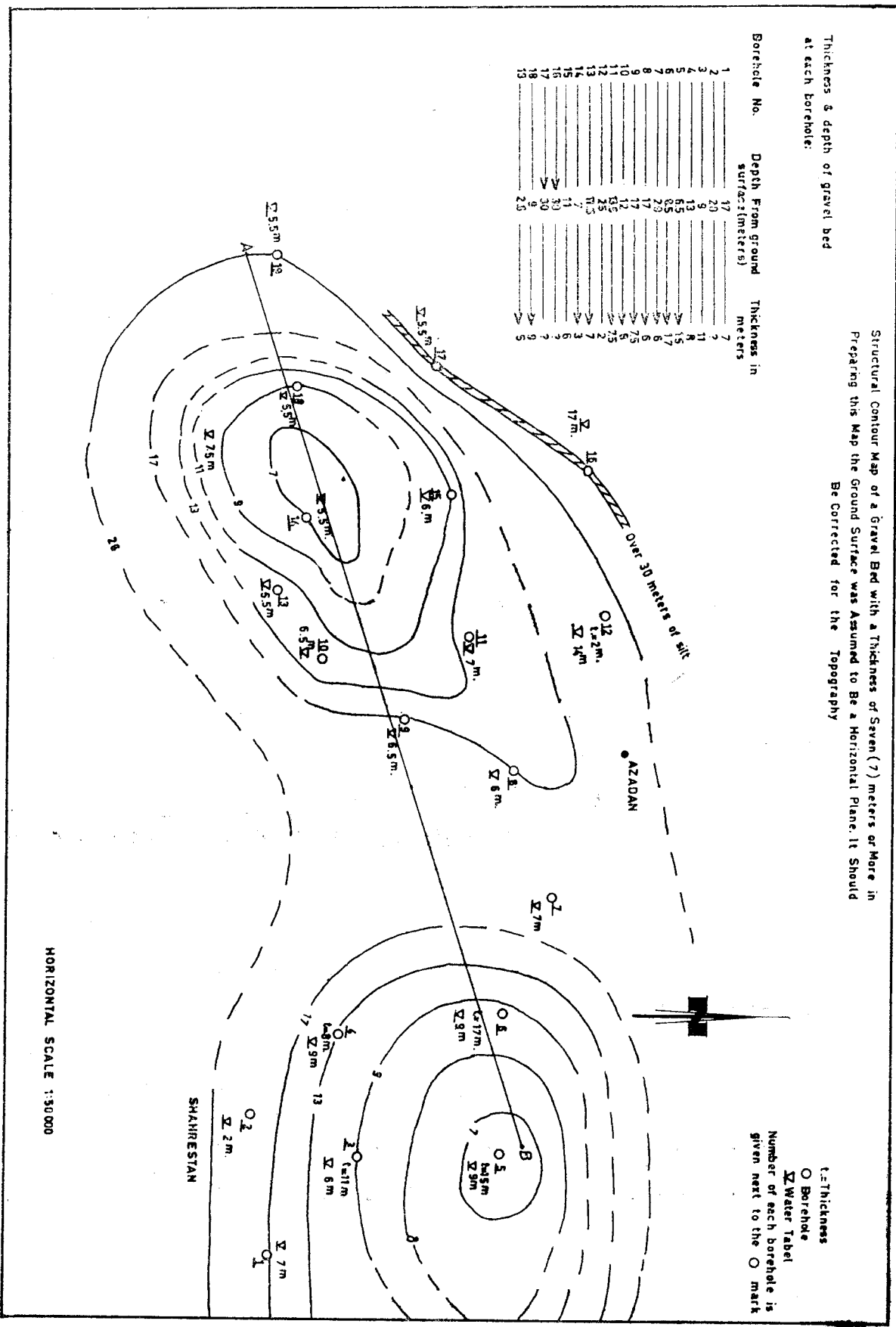
برای هرچاه لوگ کاملی شامل نتایج آزمایشات مزبور رسم گردید. در شکل (۶ و ۷) لوگ دوچاه شماره ۱۳ و ۱۴ برای مثال داده شده است. در شکل (۶) لوگ چاه شماره ۱۳ از سمت چپ به ترتیب به شرح زیر رسم شده است:

- ۱- درستون اول عمق نمونه برداری بر حسب متر مشخص گردیده است.
- ۲- درستون دوم نوع رسوبات با علائم مربوطه نشان داده شده است. این ستون پس از بررسی نتایج آزمایشات، مخصوصاً دانه بندی تهیه و بهیچوجه تنها بر مبنای تشریح نظری و یا قضاوت شخصی استوار نیست.

Thickness & depth of gravel bed at each borehole:

Borehole No.	Depth From ground surface (meters)	Thickness in meters
1	17	7
2	20	11
3	9	8
4	13	15
5	6.5	17
6	2.9	8
7	17	2.5
8	12	2.5
9	12	2.5
10	12	2.5
11	12	2.5
12	12	2.5
13	12	2.5
14	12	2.5
15	12	2.5
16	12	2.5
17	12	2.5
18	12	2.5
19	12	2.5
20	12	2.5
21	12	2.5
22	12	2.5
23	12	2.5
24	12	2.5
25	12	2.5
26	12	2.5
27	12	2.5
28	12	2.5
29	12	2.5
30	12	2.5
31	12	2.5
32	12	2.5
33	12	2.5
34	12	2.5
35	12	2.5
36	12	2.5
37	12	2.5
38	12	2.5
39	12	2.5
40	12	2.5
41	12	2.5
42	12	2.5
43	12	2.5
44	12	2.5
45	12	2.5
46	12	2.5
47	12	2.5
48	12	2.5
49	12	2.5
50	12	2.5

Structural Contour Map of a Gravel Bed with a Thickness of Seven (7) meters or More in Preparing this Map the Ground Surface was Assumed to Be a Horizontal Plane. It Should Be Corrected for the Topography



شکل ۸ - عمق لایه شن و رسوب در اصفهان



۳- برای هر نمونه شماره بخصوصی در ستون سوم داده شده است تا از اشتباه در مورد عمق و محل نمونه برداری و شماره چاه و غیره جلوگیری گردد و مشخصات محلی نمونه حفظ شود.

۴- در ستون چهارم نوع نمونه برداری مشخص شده و نمونه های دست خورده با نقاط دایره ای و نمونه های دست نخورده با علامت خط دراز نشان داده شده است. سطح آب زیرزمینی هم با علامت مثلثی در عمق ۳ متر مشخص گردیده است. البته مفاهیم کلیه علائم استاندارد در قسمت تحتانی لوگ داده شده است.

۵- در ستون پنجم با توجه به دانه بندی مصالح و طبقه بندی متد انگلیسی که قبلاً از آن بحث گردید نمونه ها اسم گذاری شده است. بدین ترتیب مثلاً اگر از منحنی دانه بندی رسوب معلوم میشود که درصد وزنی مواد متشکله رسوب نسبت بوزن کل نمونه عبارتست از ۴ درصد ماسه (Sand)، ۳۰ درصد لای (Silt) و ۲۰ درصد گل رس (Clay) در این صورت رسوب Clayey Silty Sand نامیده میشود. یعنی به ترتیب اول اسم کمترین و در آخر اسم زیادترین مواد متشکله رسوب ذکر میشود. مثلاً رسوبی با اسم Sandy Clayey Silt عبارتست از رسوبی که مقدار اعظم مواد متشکله آن لای (Silt) است که کمی گل رس و ماسه همراه دارد. مقدار ماسه کمتر از مقدار گل رس میباشد. رنگ رسوب نیز در اول اسم قید شده است. از روی شماره هر نمونه میتوان براحتی حدود منحنی دانه بندی آنرا پیدا کرد شکل (۵-۳). بعنوان مثال حدود دانه بندی نمونه شماره ۲۸۱۱۷۶ در شکل (۳) داده شده است. منحنی دانه بندی این نمونه در داخل قسمت سیاه شده قرار دارد و براحتی میتوان با تقریب کم درصد مواد متشکله آنرا بدست آورد.

۶- در ستون ششم حد روانی و حد پلاستیسیته (خمیری) رسوبات داده شده است. مثلاً حد روانی نمونه شماره ۲۸۱۱۷۸ در عمق ۷/۵ متری ۴ درصد و حد خمیری آن ۱۹ درصد است. نمونه شماره ۲۸۱۱۷۳ از عمق سه متری دارای ۲۹ درصد حد روانی و ۲۲ درصد حد خمیری است. نمونه شماره ۲۸۱۱۷۱ در عمق یک متری دارای حد روانی ۲۲ درصد بوده و فاقد حد خمیری است (Np=Nonplastic). و باین دلیل انتهای خط حد روانی در سمت چپ محدود نگشته و آزاد است.

۷- در ستون هفتم وزن واحد حجم درج میگردد که در مورد نمونه های این چاه آزمایش مزبور معمول نگردیده و بعداً علت این موضوع تشریح خواهد شد.

۸- در ستون هشتم در اعماق مختلف تعداد ضربات لازم برای ۳ سانتیمتر نفوذ مخروط فلزی در لایه ها نشان داده شده است. مثلاً در عمق ۲/۵ متری ۱۲ ضربه برای ۳ سانتیمتر نفوذ مخروط در رسوبات کافی بود. در عمق چهارمتری ۴ ضربه و در عمق ۱/۵ متری ۶ ضربه لازم بوده است. با توجه به منحنی ضربات در این چاه سه لایه عمده نسبتاً ضخیم وجود دارد:

- ۱ - لایه شن و ماسه خاکستری در عمق ۳/۵ متری به ضخامت تقریباً ۴ متر
- ۲ - لایه ماسه مخلوط با لای و گل رس در عمق ۸ متری به ضخامت تقریبی ۳/۵ متر
- ۳ - لایه شن و ماسه نسبتاً ضخیم در عمق ۱۱/۵ متر که ضخامت آن دقیقاً معلوم نیست چون حفاری در عمق ۱۸/۵ متری قطع شده است.

در عمق ۲/۵ متری و ۷/۵ متری دو لایه نازک لای وجود دارد که مقداری گل رس و ماسه همراه دارد. این لایه نه تنها با دانه بندی بلکه با داشتن حد خمیری، با حد روانی نسبتاً زیاد تر و با تعداد ضربات کم مشخص شده است و آزمایشات کاملاً همدیگر را تأیید مینماید.

بامقایسه نمونه های عمق ۲/۵ و ۷/۵ متری معلوم میشود که بعلت وجود گل رس بیشتر در عمق ۷/۵ متری مقدار حد روانی نیز بیشتر شده است. بعبارت دیگر ازدیاد گل رس در عمق ۷/۵ متری با ازدیاد مقدار حد روانی رسوب بخوبی منعکس گردیده است. از عمق ۴ متر به پائین (جز در عمق ۷/۵ متری) حد روانی رسوبات تقریباً ثابت است. چون آزمایش حد روانی بر روی دانه های ریزتر از ۳/۵ میلی متر انجام شده است میتوان چنین نتیجه گرفت که مواد ریز موجود در رسوبات اعماق مزبور با هم مشابه است با این ترتیب که ازدیاد تدریجی حد روانی از ۱۰ به ۲۰ (از عمق ۴ متر تا عمق ۱۸ متر) ازدیاد تدریجی گل رس و لای های آلی را بهمان ترتیب در اعماق مختلف چاه نشان میدهد. چون میدانیم که عامل ازدیاد حد روانی، گل رسها و لیمونهای آلی میباشد (Terzaghi, 1948, Taylor, 1948, Soil Mech. 1964). شکل (۷) نیز بهمان ترتیب فوق الذکر تهیه شده است با کمی اختلاف که ذیلاً شرح داده میشود:

در ستون ۶ از سمت چپ مقدار رطوبت طبیعی دو نمونه دست نخورده در عمق ۵ متری و ۶/۵ متری نشان داده شده است که به ترتیب عبارت است از ۱۹ درصد و ۱۲ درصد.

در ستون ۷ وزن واحد حجمی نمونه های فوق الذکر داده شده است که در حدود ۲/۱۲ گرم در سانتیمتر مکعب میباشد و وزن واحد حجمی خشک آن در حدود ۱/۸۵ گرم به سانتیمتر مکعب خواهد بود.

بدین ترتیب لوگ ۱۹ چاه مختلف که تهیه شده بود با هم مقایسه و پس از بررسی لایه ها نتایج زیر بدست آمده است:

در محوطه مورد مطالعه دو نوع رسوب عمده وجود دارد: لای، شن و ماسه. لای ها اغلب مقداری ماسه و گل رس همراه دارد و مقدار آنها در حال نوسان است. رسوبات شن و ماسه اغلب خالص و یا همراه مقدار ناچیزی لای میباشد. لای ها از نوع پلاستیکی بوده و جنس ذرات آن از پودر سنگ آهک و کوارتزهای ریز تشکیل نشده است. مقدار وزن واحد حجم خشک آن در حدود ۱/۸۵ گرم در سانتیمتر مکعب است. تعداد ضربات نفوذی لایه های مربوطه در حدود ۱۰ بوده و مقاومت فشاری آنها در حدود ۲ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است که نصف آن بعنوان مقاومت برشی در لوگ های چاه قید شده است. حد روانی این

لای‌ها حداکثر ۴ درصد و حداقل ۳ درصد بوده و حدخیزی آنها ۲ درصد است. بدین ترتیب اختلاف حدروانی و حدخیزی آنها که اندیس پلاستیسیته نامیده میشود و جزو خصوصیات مهم رسوبات است بین ۲ تا ۱ نوسان میکنند. مقاومت برشی آنها که گاهی چسبندگی نیز نامیده میشود همانطوریکه در بالا اشاره شد یک کیلوگرم برسانتیمتر مربع میباشد.

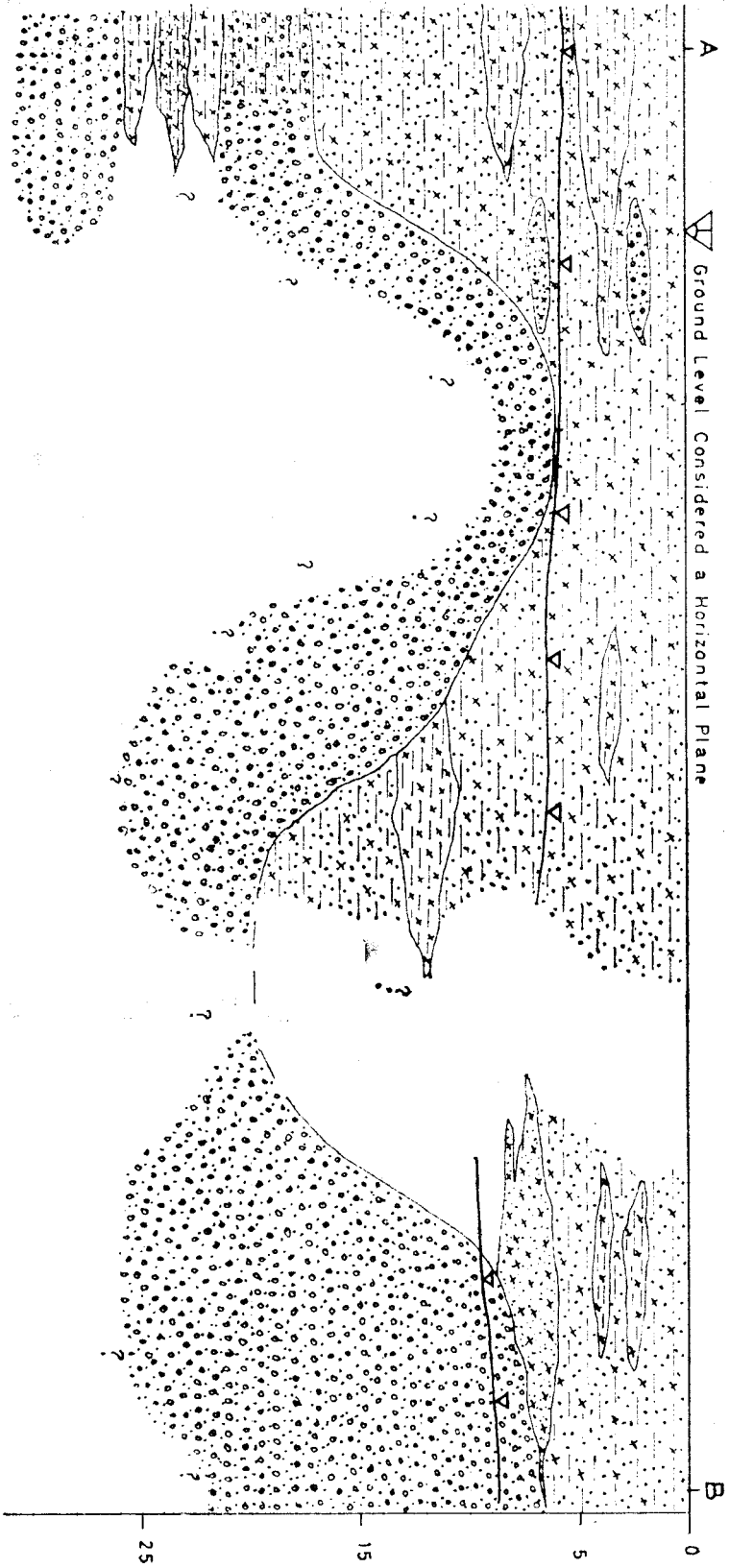
لایه‌های شن و ماسه مقاومت زیادی دارد و ضربات بیشتر از ۴ را نیز بخوبی تحمل می‌نمایند. مواد ریزناچیز آنها فاقد خاصیت پلاستیسیته بوده و بایستی ازپودر سنگها و ماسه‌های ریز تشکیل شده باشد. این گونه لایه‌ها که بیش از ۴ ضربه را تحمل مینمایند با اطمینان کامل برای بارهای ۷-۵ کیلوگرم برسانتیمتر مربع مناسب میباشد بدون اینکه احتمال نشست قابل توجهی و یا پدید آمدن برش‌های کوچکی در رسوبات وجود داشته باشد (Terzaghi, 1948). درحالیکه در مورد رسوبات لای چنین نیست و حتی اگر باری کمتر از مقاومت برشی آنها (کمتر از یک کیلوگرم برسانتیمتر مربع) بدانها وارد شود با اینکه در لایه برش ایجاد نخواهد کرد ولی ممکن است مقداری نشست در لایه‌ها بوجود آید که به قطر و عمق پایه‌هایی که بر روی آنها قرار خواهد گرفت بستگی دارد. بنابراین از نظر جنس مصالح بهتر است پایه‌های ساختمانی بر روی شن و ماسه‌ها بنا گردد که هم تحمل بار بیشتری دارد و هم اینکه احتمال نشست در آنها وجود ندارد.

با اینکه در چاه‌های مختلف لایه‌های شن و ماسه و لای بطور متناوب قرار داشت و در اعماق مختلف بعضاً عدسی‌های کوچکی از لای و شن و ماسه دیده میشد ولی بطور کلی وجود یک لایه نسبتاً ضخیم شن و ماسه در اعماق نسبتاً کمی از سطح زمین در لوگ چاه‌ها مشخص بود. عمق این لایه از سطح زمین در نقاط مختلف منطقه مورد بررسی در شکل (۸) داده شده است. در این شکل سطح زمین کاملاً هموار و افقی فرض شده است.

شماره چاه‌ها در محل‌های مربوطه مشخص و سطح آب زیرزمینی در محل چاه‌ها نشان داده شده است. در گوشه فوقانی سمت چپ نقشه در مقابل شماره هر چاه عمق دقیق لایه شن و ماسه از سطح زمین در مورد هر چاه و ضخامت لایه داده شده است. در مواردی که چاه به لایه شن و ماسه برخورد نکرده و یا حفاری چاه در قسمت شن و ماسه معوق مانده است عمق لایه شن و ماسه و یا ضخامت لایه معین نبوده با علامت سؤال و یا حداقل ضخامت آن با علامت > (بیشتر از) داده شده است.

در شمال غربی منطقه لایه‌ای از لای به ضخامت بیش از ۳ متر وجود دارد که مشخصات جنس آن در بالا ذکر شده است. وجود شن و ماسه در اعماق و یا ضخامت آن در این قسمت از محوطه نامعلوم است چون حفاری چاه بیش از ۳ متر ادامه نیافته و از نظر پروژه نیز عمقی بیشتر از آن مورد توجه نبوده است. دوبرآمدگی در لایه شن و ماسه در امتداد شمال شرقی - جنوب غربی دیده میشود که در برآمدگی قسمت شمال شرقی منطقه عمق لایه شن و ماسه حداقل میرسد. بدین ترتیب مناسبترین منطقه برای ساختمان حوالی چاه

CROSS SECTION AB



LEGEND:

- Clay
- Silt
- Gravel
- Sand

Horizontal Scale 1:50000  
Vertical Scale 1:200

LOCATION: Isfahan Brick Factory

شماره ۱ ع پیشنهاد گردید چون در این مناطق عمق حفاری برای رسیدن به سطح لایه مقاوم شن و ماسه حداقل بوده و اقتصادی تر است و بهتر است پایه‌ها در روی این لایه مقاوم استوار گردد تا نشست و یا برش لایه‌ها و در نتیجه خرابی ساختمانها پدید نیاید.

مقطع رسوبات در امتداد خط AB در شکل ۹ داده شده است. با توجه باین مقطع بخوبی روشن است که نقطه B بمراتب از نقطه A برای ساختمان مناسب تر است چون عمق چاه‌های تحقیقاتی در نقطه B زیادتر بوده و ضخامت بیشتری از لایه شن و ماسه در این قسمت مشاهده گردیده است.

### منابع مورد استفاده

Taylor, D. W., 1948 ; Fundamentals of Soil Mechanics, 11th Printing, 1960 , John Wiley and Sons, Inc. , London, 700pp.

Terzaghi , K. , and Peck , R. B. , 1948; Soil Mechanics in Engineering Practice. 14th Printing 1966, John Wiley and Sons Inc. 566pp.

Soil Mechanics for Road Engineers, 1952; A Publication of Department of Scientific and Industrial Research, Road Research Laboratory, 7th Print 1964 , London , Majesty's Office , 540pp.