

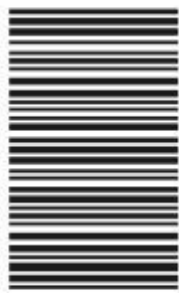
315

F

نام:

نام خانوادگی:

محل امضا:



315F

صبح جمعه

۱۳۹۵/۱۲/۶

دفترچه شماره (۱)



جمهوری اسلامی ایران  
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
سازمان سنجش آموزش کشور

«اگر دانشگاه اصلاح شود مملکت اصلاح می‌شود.»

امام خمینی (ره)

## آزمون ورودی

دوره دکتری (نیمه‌متمرکز) داخل - سال ۱۳۹۶

رشته امتحانی مهندسی معدن - مکانیک سنگ (کد ۲۳۳۸)

مدت پاسخگویی: ۱۵۰ دقیقه

تعداد سؤال: ۴۵

عنوان مواد امتحانی، تعداد و شماره سؤالات

ردیف	مواد امتحانی	تعداد سؤال	از شماره	تا شماره
۱	مجموعه دروس تخصصی (مکانیک سنگ - مکانیک محیط‌های پیوسته - طراحی و اجرای فضاهای زیرزمینی)	۴۵	۱	۴۵

این آزمون نمره منفی دارد.

استفاده از ماشین حساب مجاز نیست.

اسفندماه - سال ۱۳۹۵

حق چاپ، تکثیر و انتشار سؤالات به هر روش (الکترونیکی و ...) پس از برگزاری آزمون، برای تمامی اشخاص حقیقی و حقوقی تنها با مجوز این سازمان مجاز می‌باشد و با متخلفین برابر مقررات رفتار می‌شود.

مکانیک سنگ:

۱- کدام یک از روش‌های اندازه‌گیری تنش برجا، نیازی به اطلاع از پارامترها و خواص ژئومکانیکی توده سنگ نمی‌باشد؟

(۱) بیش مغزه‌گیری سلول USBM

(۲) بیش مغزه‌گیری سلول CSIRO

(۳) شکست هیدرولیکی

(۴) جک تخت (مسطح)

۲- در صورتی که یک ماده رفتار الاستیک داشته و در یک آزمایش سه محوری (سلول هوک) نسبت تنش اصلی

کوچکتر به بزرگتر برابر با  $\frac{\nu}{1-\nu}$  بوده و مشخصات سنگ برابر  $E = 50 \text{ GPa}$ ,  $\nu = 0.25$  باشد. کرنش مربوط به

تنش بزرگتر برابر کدام است؟

(۱)  $\frac{1}{50} \sigma_3$

(۲)  $\frac{1}{20} \sigma_3$

(۳)  $\frac{1}{30} \sigma_3$

(۴)  $\frac{1}{40} \sigma_3$

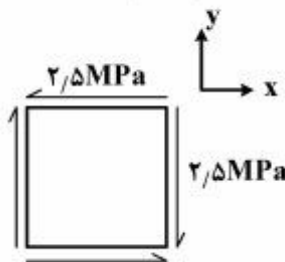
۳- اگر مقاومت کششی نمونه سنگی  $7/5$  مگاپاسکال باشد. بر اساس شکل روبه‌رو، ضریب اطمینان کدام است؟

(۱)  $1/5$

(۲)  $2$

(۳)  $2/5$

(۴)  $3$



۴- پوش مقاومت کولمب برای یک نمونه سنگی بر حسب تنش‌های برشی و عمودی مطابق شکل زیر داده شده است.

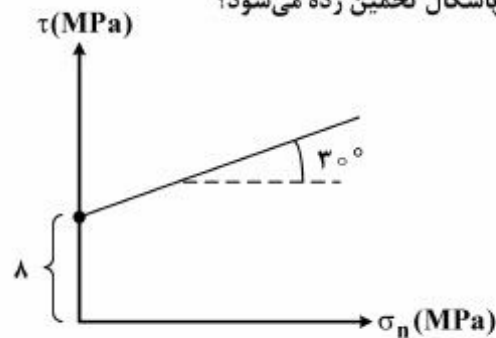
طبق این معیار، مقاومت فشاری تک محوری این سنگ چند مگاپاسکال تخمین زده می‌شود؟

(۱)  $9/2$

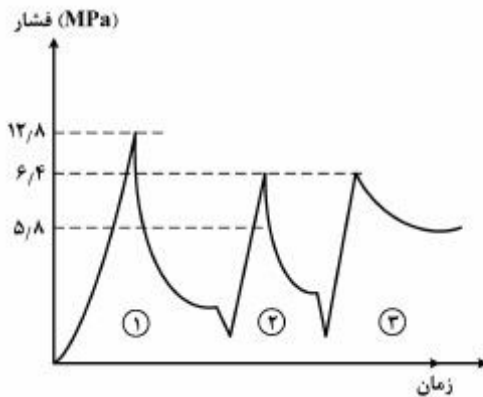
(۲)  $18/4$

(۳)  $27/7$

(۴)  $55/4$



۵- در یک ساختگاه سد سازی، آزمایش شکست هیدرولیکی به منظور اندازه‌گیری تنش بر جای توده سنگ انجام گرفته و از نتایج آن نمودار فشار - زمان به صورت زیر به دست آمده است. تنش افقی حداکثر چند مگاپاسکال است؟ از فشار آب در ناحیه آزمایش صرف‌نظر شده است.

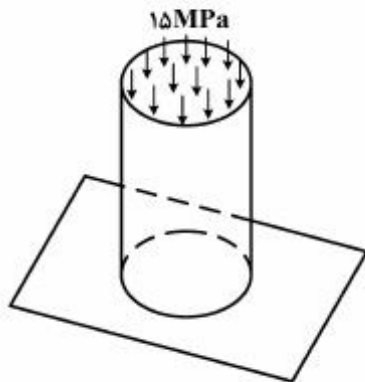


- (۱) ۱۱/۳
- (۲) ۷
- (۳) ۶/۴
- (۴) ۵/۸

۶- معادله دایره موهر متناظر با شرایط وقوع شکست در یک نمونه ماسه سنگ به صورت  $(\sigma_n - 10)^2 + \tau^2 = 225$  است. تنش اصلی حداقل در لحظه شکست در سنگ چند مگاپاسکال است؟

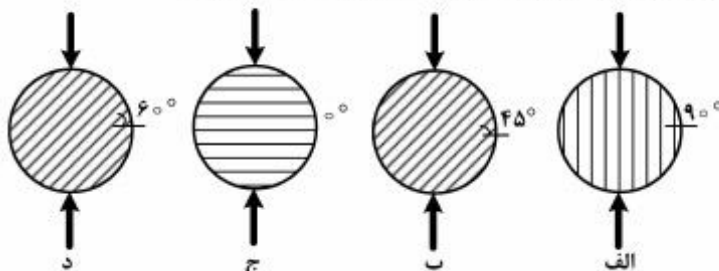
- (۱) ۲۵
- (۲) -۵
- (۳) ۲/۵
- (۴) -۲۵

۷- مطابق شکل زیر، نمونه سنگی همگن دارای رفتار ایزوتروپ با سطح مقطع دایروی با قطر ۱ متر و ارتفاع ۲ متر تحت تنش قائم ۱۵ مگاپاسکال قرار گرفته است. اگر ضریب ارتجاعی نمونه سنگی  $2 \times 10^{11}$  Pa و نسبت پواسون آن  $0.2$  باشد، مقدار کرنش حجمی چقدر است؟



- (۱)  $-0.15 \times 10^{-3}$
- (۲)  $-0.45 \times 10^{-3}$
- (۳)  $-0.75 \times 10^{-3}$
- (۴)  $-1.05 \times 10^{-3}$

۸- آزمایش برزیلین بر روی نمونه‌های دیسکی سنگ ناهمسانگرد (آنیزوتروپ) طبق شکل‌های زیر انجام گرفته است. در کدام یک از نمونه‌های سنگی به ترتیب بیشترین و کمترین مقاومت کششی به دست می‌آید؟



- (۱) د - الف
- (۲) د - ج
- (۳) ج - د
- (۴) ب - الف

۹- معیار مقاومت برشی یک ناپیوستگی با سطح زیر طبق معادله پیشنهادی بارتون به صورت زیر بیان شده است:

$$\tau = \sigma_n \tan\left(15 + 13 \log_{10} \frac{47}{\sigma_n}\right)$$

مقدار مقاومت فشاری دیواره درزه و ضریب زبری درزه برای این ناپیوستگی چقدر است؟

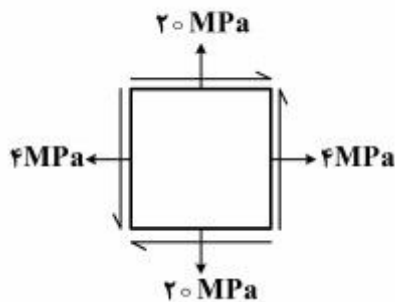
(۱) ۱۵ و ۲۳/۵

(۲) ۱۵ و ۴۷

(۳) ۱۳ و ۴۷

(۴) ۱۳ و ۲۳/۵

۱۰- المان تنش در یک نقطه از محیط سنگی تحت تنش صفحه‌ای به صورت شکل زیر است. اگر تنش‌های اصلی حداکثر و حداقل به ترتیب ۲۲ و ۲ مگاپاسکال باشند، مقدار  $\tau_{xy}$  روی المان تنش چند مگاپاسکال است؟



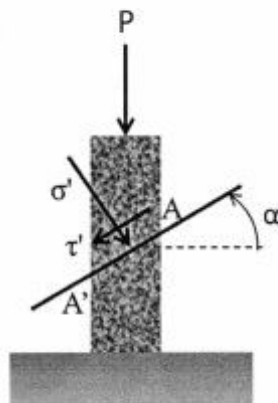
(۱) ۴

(۲) ۶

(۳) ۸

(۴) ۱۰

۱۱- بار  $P$  مطابق شکل زیر به نمونه سنگی وارد می‌شود. تنش‌های عمودی و برشی روی مقطع  $A-A'$  به ترتیب برابر  $\sigma'$  و  $\tau'$  هستند. در این مورد کدام گزینه صحیح است؟



(۱)  $\tan(2\alpha) = \frac{\sigma'}{\tau'}$

(۲)  $\tan(\alpha) = \frac{\sigma'}{\tau'}$

(۳)  $\tan(2\alpha) = \frac{\tau'}{\sigma'}$

(۴)  $\tan(\alpha) = \frac{\tau'}{\sigma'}$

۱۲- مغزه‌ای از ماسه سنگ به قطر  $NX$  و نسبت طول به قطر ۲ در آزمایشگاه اشباع شده است. وزن نمونه اشباع ۸۰۰۰ نیوتن و وزن نمونه پس از خارج شدن از کوره به ۷۲۰۰ نیوتن تقلیل یافته است. وزن مخصوص خشک نمونه حدود چند کیلونیوتن بر سانتی‌متر مکعب است؟

(۱) ۲۶

(۲) ۲۸

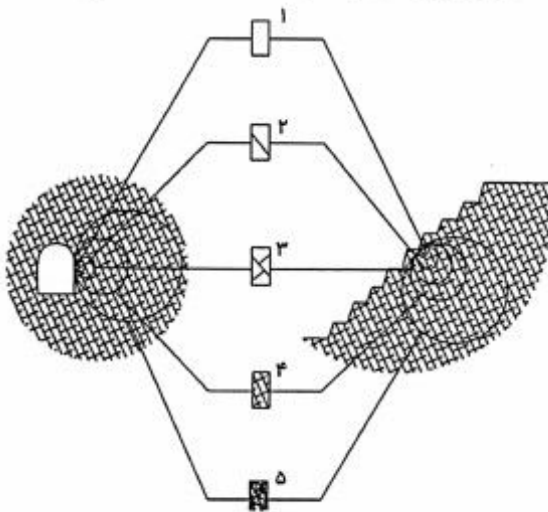
(۳) ۲۹

(۴) ۳۳

- ۱۳- در حاشیه یک دره، علت اینکه راستای تنش اصلی حداکثر، مماس به دیواره دره می‌شود چیست؟
- (۱) کم بودن مؤلفه تنش قائم زمین به علت کم بودن روباره در مجاورت دره علت این پدیده است.
  - (۲) تنش‌های تکتونیکی زمین که عموماً در اعماق کم حاکم بر میدان تنش‌هاست، عامل این اثر است.
  - (۳) این همراستایی به علت رسوب‌برداری از محل دره در طی گذشت زمان می‌باشد.
  - (۴) سطح آزاد دره سطح اصلی است، لذا باید یکی از تنش‌های اصلی در راستای آن قرار گیرد.

- ۱۴- در طبقه‌بندی مهندسی Q، پارامتر SRF (ضریب کاهش تنش) کدام‌یک از شرایط زیر را دربر می‌گیرد؟
- (۱) برخورد با نواحی برشی - انفجار خودبه‌خودی سنگ - رفتار آماسی سنگ
  - (۲) هندسه نامتقارن فضای زیر زمینی - انفجار خودبه‌خودی سنگ - تنش‌های القایی بالا
  - (۳) تنش‌های القایی بالا - هندسه نامتقارن فضای زیرزمینی - برخورد با نواحی برشی
  - (۴) رفتار آماسی و فشارنده زمین - تنش‌های القایی بالا - هندسه نامتقارن فضای زیرزمینی

- ۱۵- با توجه به شکل زیر، در کدام حالت نمی‌توان از معیار هوک - براون برای تعیین مقاومت سنگ استفاده کرد؟



- ۱ (۱)
- ۲ (۲)
- ۴ (۳)
- ۵ (۴)

#### مکانیک محیط‌های پیوسته:

- ۱۶- در مورد معیار تسلیم دراکر - پراگر، گزینه صحیح کدام است؟
- (۱) بر مبنای این معیار، تسلیم زمانی رخ می‌دهد که تنش برشی هشت‌وجهی به حد بحرانی برسد.
  - (۲) دربرگیرنده چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی بوده و برای مصالح سنگ و خاک مناسب است.
  - (۳) مستقل از تنش‌های هیدرواستاتیکی بوده و برای مصالح ترد مناسب است.
  - (۴) مستقل از نامتغیر دوم تنش انحرافی بوده و مختص فلزات ارائه شده است.

۱۷- نقطه‌ای از یک جسم دارای تانسور تنش زیر است.

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} -112 & a & 0 \\ b & -112 & 0 \\ 0 & 0 & 99 \end{bmatrix} \text{ (MPa)}$$

اگر قدر مطلق تنش اصلی ۲۱۲ باشد، در شرایطی که تانسور تنش متقارن می‌باشد،  $a$  و  $b$  کدام است؟

(۱)  $a = 120, b = 220$

(۲)  $a = 180, b = 180$

(۳)  $a = 220, b = 120$

(۴)  $a = 240, b = 240$

۱۸- اگر در یک میدان تنش سه‌بعدی، مقادیر تنش‌های اصلی برابر  $10, 20$  و  $30$  مگاپاسکال باشند، نامتغیر دوم تنش انحرافی کدام است؟

(۱)  $20$

(۲)  $60$

(۳)  $100$

(۴)  $120$

۱۹- در مورد تانسور ضرایب ارتجاعی، گزینه صحیح کدام است؟

(۱)  $C_{ijik} = C_{ijkl}; C_{klij} = C_{lkij}$

(۲)  $C_{klij} = C_{ijkl}; C_{kjil} = C_{klji}$

(۳)  $C_{ijkl} = C_{ijlk}; C_{klij} = C_{ijlk}$

(۴)  $C_{ijkl} = C_{ijlk}; C_{klij} = C_{ijkl}$

۲۰- برای تانسور کرنش زیر، مقادیر کرنش‌های اصلی، کدام است؟

$$\varepsilon_{ij} = 10^{-4} \times \begin{bmatrix} 17 & 0 & 0 \\ 0 & -23 & 28 \\ 0 & 28 & 10 \end{bmatrix}$$

(۱)  $\varepsilon_1 = 26 \times 10^{-4}, \varepsilon_2 = 33 \times 10^{-4}, \varepsilon_3 = -24 \times 10^{-4}$

(۲)  $\varepsilon_1 = 28 \times 10^{-4}, \varepsilon_2 = -12 \times 10^{-4}, \varepsilon_3 = 26 \times 10^{-4}$

(۳)  $\varepsilon_1 = 17 \times 10^{-4}, \varepsilon_2 = -23 \times 10^{-4}, \varepsilon_3 = 10 \times 10^{-4}$

(۴)  $\varepsilon_1 = -39 \times 10^{-4}, \varepsilon_2 = 26 \times 10^{-4}, \varepsilon_3 = 17 \times 10^{-4}$

۲۱- ماتریس انتقال حاصل از دوران  $60^\circ$  حول محور X در دستگاه مختصات XYZ، کدام است؟

$$(1) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

$$(2) \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{2}}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

$$(3) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{-1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}$$

$$(4) \begin{bmatrix} 1 & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{2}}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

۲۲- تابع تنش ابری  $\sigma = x_1^4 x_2 + 4x_1^2 x_2^3 - x_3^5$  را در نظر بگیرید. تانسور تنش در نقطه  $(1, 2, 0)$ ، در کدام گزینه صحیح نمایش شده است؟ فرض کنید  $\nu = 0,25$  است.

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} 48 & -14 & 0 \\ -14 & 90 & 0 \\ 0 & 0 & 25 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} 120 & 26 & 0 \\ 26 & 142 & 0 \\ 0 & 0 & -42 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} -96 & -22 & 0 \\ -22 & 64 & 0 \\ 0 & 0 & -16 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} -112 & -100 & 0 \\ -100 & 88 & 0 \\ 0 & 0 & -6 \end{bmatrix} \quad (4)$$

۲۳- یک جسم غیرهمسان‌گرد کامل و یک جسم اورتوتروپیک را در نظر بگیرید. تعداد پارامترهای تانسور نرمی (compliance) هر یک به ترتیب، کدام است؟

(۱) ۹،۲۱

(۲) ۱۳،۲۱

(۳) ۲۱،۳۶

(۴) ۲،۳۶

۲۴- معادلات بلترامی - میشل، در کدام شرایط کاربرد دارد؟

(۱) در مرزهای جسم، تغییر مکان‌ها مشخص ولی در جسم بارهای حجمی صفر باشد.

(۲) در مرزهای جسم، تنش‌ها یا کرنش‌ها مشخص باشند.

(۳) در مرزهای جسم، تغییر مکان‌های مشخص باشد.

(۴) در مرزهای جسم، شدت بار گسترده مشخص باشد.

۲۵- با داشتن تنش  $\sigma_{ij}$  به صورت زیر، تنش نرمال هشت‌وجهی چقدر است؟

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 2 & 2 & 1 \\ 4 & 1 & 3 \end{bmatrix} \text{ (واحد تنش)}$$

(۱) ۱/۵

(۲) ۲

(۳) ۳/۸

(۴) ۶

۲۶- تانسور کرنش  $\varepsilon_{ij}$  در یک نقطه به صورت زیر بوده و کرنش‌های اصلی تانسور کرنش  $\varepsilon_1 = 0.00219$  ،

$\varepsilon_2 = -0.00119$  و  $\varepsilon_3 = -0.001$  می‌باشد. کرنش برشی حداکثر ( $\gamma_{\max}$ ) برابر کدام است؟

$$\varepsilon_{ij} = \begin{bmatrix} -0.001 & 0 & 0 \\ 0 & -0.001 & 0.000785 \\ 0 & 0.000785 & -0.002 \end{bmatrix}$$

(۱) ۰،۰۰۱

(۲) ۰،۰۰۲۶۲

(۳) ۰،۰۰۳۳۸

(۴) ۰،۰۰۳۶۲

۲۷- مقادیر ویژه یک تانسور متعامد کدام است؟

(۱)  $\pm \frac{\sqrt{3}}{3}$ 

(۲) ۰

(۳)  $\pm \frac{\sqrt{2}}{2}$ (۴)  $\pm 1$



۲۸-  $\delta_{ij}$  (دلتای کرونکر) می‌باشد. در صورت بسط کامل عبارت زیر، مقدار آن کدام است؟

$$\delta_{ij} \cdot \delta_{ij} = ?$$

(۱) ۰

(۲) -۱

(۳) ۱

(۴) ۳

۲۹- در مورد مصالح دارای رفتار همسان‌گرد (ایزوتروپ)، گزینه صحیح کدام است؟

(۱) دارای تقارن نسبت به یک صفحه و محور عمود بر آن هستند.

(۲) دارای تقارن نسبت به یک صفحه هستند.

(۳) دارای دو محور تقارن متعامد هستند.

(۴) دارای دو سطح تقارن متعامد هستند.

۳۰- در مورد دو معیار شکست ون‌میسز و دراکر - پراگر، گزینه صحیح کدام است؟

(۱) در معیار ون‌میسز، معیار شکست مستقل از تنش هیدرواستاتیک و معیار دراکر - پراگر وابسته است.

(۲) در صورتی که مواد شکننده باشند، معیار ون‌میسز پاسخ مناسب‌تری را تخمین می‌زند.

(۳) در هر دو معیار، تنش هیدرواستاتیک همیشه عامل افزایش مقاومت است.

(۴) هر دو معیار شکست، پاسخ محافظه‌کارانه‌ای را تخمین می‌زنند.

### طراحی و اجرای فضاهای زیرزمینی:

۳۱- کدام گزینه، بیانگر مزیت دستگاه Open TBM نسبت به انواع دیگر آن می‌باشد؟

(۱) عدم استفاده از کفشک‌ها برای پیشروی کله حفاری (۲) کاهش هزینه نگهداری موقت در پروژه

(۳) کاهش زمان بتن‌ریزی در طول پروژه (۴) سرعت بالای حفاری

۳۲- رفتار سنجی پس از احداث و اجرا، کدام مورد را تأیید یا مشخص می‌کند؟

(۱) پایداری پیش‌بینی شده (۲) مقاومت فشاری سنگ

(۳) مقاومت کششی سنگ (۴) طبقه‌بندی سنگ

۳۳- یکی از روابط مورد استفاده در طراحی حداکثر دهانه پایدار فضاهای قوسی شکل (Voussior arch)، به کارگیری

$\gamma$  وزن واحد حجم مواد تشکیل دهنده سقف است. اگر ضخامت قوس ۳ متر و ضخامت سنگ ضعیف روباره ۶ متر

باشد.  $\gamma$  اصلاح شده چند کیلونیوتن بر متر مکعب خواهد بود؟  $\gamma = 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$  برای مواد تشکیل دهنده قوس و

روباره یکسان فرض شده است.

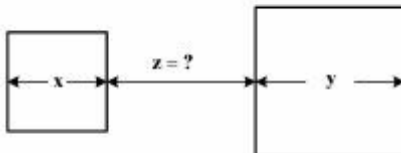
(۱) ۲۱۶

(۲) ۲۴

(۳) ۷۲

(۴) ۲۰۸

- ۳۴- در کدام حالت، ارتفاع بار ترزاقی، مستقل از مقدار  $(B + H_f)$  است؟ B: عرض تونل،  $H_f$ : ارتفاع تونل  
 (۱) زمین‌های مجاله شونده در اعماق متوسط  
 (۲) زمین‌های مجاله شونده در اعماق زیاد  
 (۳) زمین‌های کاملاً خرد شده ولی بدون هوازدگی  
 (۴) زمین‌های متورمی
- ۳۵- تونل آبرسانی با قطر داخلی ۱۰ متر با جریان آزاد در حال کار است. حداکثر عمق آب در تونل مزبور چند متر است؟  
 (۱) ۸٫۲  
 (۲) ۹٫۲  
 (۳) ۹٫۵  
 (۴) ۸٫۵
- ۳۶- برای نگهداری تونلی با عرض ۸ متر از بولت‌های مکانیکی استفاده می‌شود. اگر ارتفاع بار وارد بر نگهداری ۵ متر باشد، طول بولت چند متر باید باشد؟  
 (۱) ۲٫۵  
 (۲) ۵  
 (۳) ۶٫۵  
 (۴) ۱٫۶
- ۳۷- برای حفر تونل در شرایط زمین‌های جریانی (flowing ground)، کدام روش مناسب‌تر است؟  
 (۱) چالزنی و آتش‌باری  
 (۲) ماشین TBM با سپر باز  
 (۳) ماشین‌های حفار بازویی  
 (۴) ماشین‌های TBM با شیلدهای بسته
- ۳۸- برای طراحی فضاهای زیرزمینی چهارگوش در محیط‌های رسوبی از تئوری تیرها با رابطه  $L = \sqrt{\frac{2\sigma_{max} \cdot t}{\gamma \cdot SF}}$   
 استفاده می‌شود. در تصمیم‌گیری نهایی به جای  $\sigma_{max}$  حداکثر تنش مجاز، کدام کمیت جایگذاری می‌شود؟  
 (۱) مدول تغییر شکل سنگ سقف  
 (۲) مدول گسیختگی سنگ سقف  
 (۳) مقاومت فشاری یک محوری سنگ سقف  
 (۴) مقاومت کششی مستقیم سنگ سقف
- ۳۹- تونلی با عرض ۶ متر از داخل توده سنگی با  $RMR = 60$  حفر می‌شود. فشار وارد بر نگهداری سقف تونل چند تن بر متر مربع است؟  $\gamma = 2/5 \frac{t}{m^3}$   
 (۱) ۴٫۹  
 (۲) ۶  
 (۳) ۸٫۲  
 (۴) ۱۰
- ۴۰- دو گالری معدنی با مقطع مربع ولی با ابعاد مختلف مثل شکل زیر داده شده است. فاصله مناسب گالری‌ها چقدر است؟  
 (۱)  $z = 3(y - x)$   
 (۲)  $z = 2(y - x)$   
 (۳)  $z = 3(x + y)$   
 (۴)  $z = 2(x + y)$



۴۱- در روش حفاری مرحله‌ای (SEM) تونل در زمین‌های سست، طول گام‌های حفاری چقدر است و به چه عواملی بستگی دارد؟

- (۱) به جنس زمین و نوع سیستم نگهداری بستگی دارد و به‌طور متوسط بین ۰/۶ تا ۱/۵ متر است.
- (۲) به نوع زمین بستگی دارد و به‌طور متوسط بین ۰/۳ تا ۰/۵ متر است.
- (۳) به نوع سیستم نگهداری بستگی دارد و به‌طور متوسط بین ۲ تا ۴ متر است.
- (۴) به ماشین‌آلات و تجهیزات حفاری بستگی دارد و به‌طور متوسط بین ۳ تا ۶ متر است.

۴۲- کدام یک از انواع ملحققات تقویتی زیر، برای محیط‌های آبدار مناسب‌تر است؟

- |                     |                  |
|---------------------|------------------|
| (۱) Expansion shell | (۲) Swellex bolt |
| (۳) Split set       | (۴) Slot & wedge |

۴۳- کدام روش حفر چاه، مستقل از ابعاد، شکل و شیب چاه می‌باشد؟

- |                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| (۱) چاه کور بالارو    | (۲) حفر گمانه بزرگ        |
| (۳) چالزنی و آتش‌باری | (۴) بالارو با گمانه مرکزی |

۴۴- برای طراحی نگهداری دیواره چاه در داخل سنگی با زاویه اصطکاک داخلی ظاهری  $30^\circ$ ، تنش افقی طراحی، چند مگاپاسکال باید باشد؟ ( $\sigma_v = 12 \text{MPa}$ )

- |       |        |
|-------|--------|
| (۱) ۳ | (۲) ۴  |
| (۳) ۶ | (۴) ۳۶ |

۴۵- در مورد افت هیدرولیکی در تونل‌های تحت فشار، گزینه صحیح کدام است؟

- (۱) با توان دوم سرعت نسبت عکس و با قطر تونل رابطه مستقیم دارد.
- (۲) با توان دوم سرعت و قطر تونل رابطه مستقیم دارد.
- (۳) با طول تونل رابطه عکس و قطر تونل رابطه مستقیم دارد.
- (۴) با توان دوم سرعت رابطه مستقیم دارد.

