

פתרון מוצע לבחינה בהנדסת מערכות מים

מועד א' תשע"ז, חודש יולי שנה 2017

מחבר: ד"ר יצחק מרקסמר מכללת אורט בראודה

שאלה 1

- 1.1 נגר עילי נקבע מאופי תכסית השטח (עירוני, חקלאי, משולב) ומשיפועו
- 1.2 נגר עילי יצור בעיות של סחף בשדה באופן העלול להוביל לאובדן קרקע פורייה. כמו כן עלול ליצור בעיות של עבירות לכלים חקלאיים, באופן שיקשה על עיבודו באופן רציף.
- 1.3
 - א. באר החדרה אמורה לאפשר חלחול הדרגתי של כמויות מים גדולות במיוחד אל תת הקרקע, לרוב ישירות אל מאגר מי תהום, במטרה עיקרית למנוע היווצרותו של נגר עילי נרחב (ומשנית להעשרת מי התהום אם מתאפשר)
 - ב. באר בעומק מס' מטרים, קוטר לרוב מתחת למטר ומלאה חצץ גס המצוי בבד גיאוטכני כאשר המים מחלחלים באיטיות רבה דרך שכבות החצץ. מיועד לקליטת עודפי מים משטחים נרחבים, סמי עירוניים ברובם, וזאת כאשר חלחול הקרקע נמוך מטבעו.
- 1.4 רדיוס באר החדרה $r_{lw} = 0.8$ מטר, עומק באר החדרה $h_{lw} = 17$ מטר. נקוביות מתנקזת של החצץ $\theta_e = 0.23$.
 - א. נפח באר החדרה יחושב ע"י $V_{lw} = \pi r_{lw}^2 h_{lw} = 3.14 * 0.8^2 * 17 = 34 m^3$
 - ב. נפח הבאר הזמינה למילוי $V_{ro} = V_{lw} * \theta_e = 34 * 0.23 = 7.82 m^3$
 - ג. מס' בארות ההחדרה שיידרשו לקליטת כלל הנגר $n_{lw} = 2500 / 7.82 = 320$ (חייב להיות מס' שלם)
 - ד. הפתרון אינו מעשי או כלכלי עקב מס' הבארות הרב

שאלה 2

נתוני השאלה:

$$m=4$$

$$b=3m$$

$$h=0.75m$$

$$i=1\%=0.01$$

- 2.1 הרדיוס ההידראולי ניתן ע"י $R=A/P$ כאשר A הנו שטח חתך הזרימה ו- P הנו ההיקף המורטב:

$$A=(b+mh)h=(3+4*0.75)*0.75=4.5m^2$$

$$P=b+2h*\sqrt{1+m^2}=3+1.5*4.12=9.18m$$

$$R=4.5/9.18=0.49m \text{ ולכן}$$

נוסיף כעת את הטבלה הנתונה בשאלה ונמלאה בהתאם לסעיפים הבאים:

סוג חיפוי הקרקע	מקדם מנינג n	מהירות זרימה (מטר לשנייה)	מאמץ גזירה (ק"ג למ"ר)
B	0.03	2.08	4.9
C	0.029	2.15	4.9

2.2

א. מתוך הצבה במשוואת מנינג נקבל $V_B = (1/0.03) \cdot 0.49^{2/3} \cdot 0.01^{1/2} = 2.08 \text{ m/s}$
 $V_C = (1/0.029) \cdot 0.49^{2/3} \cdot 0.01^{1/2} = 2.15 \text{ m/s}$

(נסמן זאת באדום בטבלה על מנת שיהיה ברור השיוך לסעיף)

ב. ע"פ הטבלה שבנספח 2, מהירות הזרימה בתעלה המחופה בצמחייה מסוג B עומדת בתקן (מכיוון שמהירות מותרת 2.4 מטר לשנייה) בעוד שבחיפוי צמחי מסוג C לא עומדים בתקן (מהירות מותרת 2.1 מטר לשנייה)

2.3

א. מאמץ גזירה יחושב לפי $1000 \cdot R \cdot i$ ולכן בחיפוי מסוג B או C נקבל $1000 \cdot 0.49 \cdot 0.01 = 4.9 \text{ kg/m}^2$. נוסיף זאת לטבלה (בכחול)
 ב. עומדים בתקן מבחינת חיפוי מסוג B (ערך מותר 10.1 ק"ג למ"ר) וגבוליים לגבי חיפוי מסוג C (ערך מותר 4.9 ק"ג למ"ר)

2.4

א. דרגת האטה מהווה מדד להאטת הזרימה כתוצאה מייצוב צמחי וזאת ע"פ מפתח בין 5 רמות בהתייחס לגובה וקצב צמיחה
 ב. ככל שעולים בדירוג (לכיוון E) כך הצמחייה משמעותית פחות ומכאן שגם ערכו של מקדם מנינג יורד.

שאלה 3

3.1

א. בסחיפה שכבתית מוסרת רובה של הקרקע העליונה הפורייה תוך חשיפת המסלע הקשה שמתחתיה. הדבר נגרם לרוב מפגיעתן של טיפות המים בקרקע היוצרות הסרה אחידה למדי של שכבה זו תוך "מחיקת" כל הקיים עליה
 ב. סחיפה ערוצית מהווה את המשך התהליך אך במצב בו מרקם הקרקע אחיד לעומקו. כאן ייווצרו חריצים עמוקים שילוו בהתמוטטות קרקע אל תוכם באופן המשמר את השדה בחלקים בהם לא נגרמה פגיעה ואובדנו באזורים בהם ניכרת התרחבות החירוף העמוק

3.2

א. פוריות הקרקע תיפגע קשות (עד ללא יכולת שיקום) ובתפרוסת נרחבת בסחיפה שכבתית, וזאת מכיוון שרוב השכבה הפורייה העליונה מוסרת ותיוותר בעיקר שכבה סלעית יותר שאינה פורייה. פוריות הקרקע תיפגע באופן מקומי בסחיפה ערוצית, באזורים בהם תהליך החירוף לקח חלק
 ב. בסחיפה שכבתית מבנה הקרקע משתנה מכיוון שמוסרת השכבה העליונה, אך מבחינה צורנית עדיין נקבל משטח קרקעי אחיד בסופו. מסחיפה ערוצית, מבנה הקרקע מתעוות עקב יצירת חריצים עמוקים ולעיתים נלווית לכך התמוטטות מבנית היוצרת דפורמציות נוספות עד לאובדן מבנה הקרקע האחד והמוכר.
 ג. בסחיפה שכבתית אובדן כמעט מוחלט של גידולים חקלאיים עקב הסרת השכבה הפורייה. בסחיפה ערוצית פגיעה ראשונית מקומית בגידולים באזור החירוף (לרוב עקב חשיפת שורשים) אך מהעובדה שתיווצר בעיה בעבירות כלי רכב חקלאיים, תיגרם בטווח הארוך פגיעה נרחבת יותר בשדה גם באזורים המרוחקים ממוקדי החירוף.

3.3 נעתיק תחילה את הטבלה המצורפת לסעיף ונמלאה בהמשך (בצבע) ע"פ תתי הסעיפים

קוטר מגלש D (מ"מ)	ספיקה יוצאת Q (מ"ק לשנייה)	נפח איגום V (מ"ק)	גובה מים מירבי במאגר (מטר)	גובה סוללה נדרש H (מטר)
600	1.5	40000	8.2	8.7
1000	4	30000	7.4	7.9

א. את הנתונים לגבי גובה המים במאגר נמצא בעזרת הגרף בנספח 3. יש להתוות קו אופקי מציר Y (נפח האיגום), ובהצטלבות עם הגרף להתוות קו אנכי לציר X (גובה המים במאגר). התוצאות יושלמו באדום בטבלה

ב. גובה סוללה נדרש יחושב ע"פ הנוסחה $H=h+f$ ולכן מהצבת הערכים שמהטבלה (h) יחד עם בלט של חצי מטר כנדרש בשאלה נקבל 8.7 ו- 7.9 מטר בהתאמה. נשלם זאת בטבלה בכחול

שאלה 4

4.1 קצב חידור קבוע מושג לאחר שהגיעה לרוויה, ומבטא את מקדם המוליכות ההידראולית של הקרקע במצב זה.

4.2

א. בשיטה זו מוזרמים מים לחלחול ברווח שבין 2 טבעות קונצרטיות עד הגעה למצב שיווי משקל מבחינת קצב החידור (הגעה לערך קבוע) כך שעומד המים במערך הטבעות קבוע. מדיעת קצב הוספת המים (שזהה כאמור לקצב החלחול) ניתן לקבל את המוליכות ההידראולית בקרקע

ב. הטבעות מגדרות את התחום המרחבי המאפשר לחלחול המים ומכאן להבטחת קיום זרימה אנכית הניתנת לאפיון מדידתי ביתר קלות

ג. הבדיקה מסתיימת לאחר שעומד (גובה) המים במרחב שבין הטבעות קבוע. במצב זה, ובידיעת קצב הוספת המים (שניתן למודדו אז בקלות) מסיקים על מוליכות הקרקע במצב רוויה

4.3

א. נעשה שרטוט בנספח 4.

ב. קצב החידור הקבוע הנו 5 ס"מ לשעה (הגרף מקבל תצורה אופקית)

ג. זהו גם ערכה של המוליכות ההידראולית ברוויה ושווה ל- $1.38 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

4.4

א. מציר ה- X (אחוז חרסית) מעלים קו אנכי עד העקום המתאר את ערך המוליכות ההידראולית (יש להעביר עקום מוערך כאשר הערך שהתקבל מסעיף 4.3 נופל בין העקומות הנתונות). נקודת המפגש נמצאת בתחום המגדיר את סיווג הקרקע

ב. הנקודה מסומנת על המשולש (ראה נספח 5)

ג. סיווג הקרקע sandy loam ובעברית סיין חולי.

שאלה 5

5.1 קו ישר הועבר בין הנקודות שהועלו על הרשת שבנספח 6

5.2

א. ערכו של α 0.035 h/m^2 וזאת מחיתוך הגרף עם ציר ה- Y

ב. α מבטא את ההופכי לתולכת האקוויפר ולכן הופכי גם לספיקה היחסית בספיקות שאיבה נמוכות (וישיר לשפילה היחסית). ככל שערכו נמוך יותר כך טובה יותר תולכת האקוויפר וקטנה השפילה המקסימלית שתתקבל על גבי המקדח

5.3

א. ערכו של $1/\alpha$ הנו $28.5 \text{ m}^2/\text{h}$ או $685 \text{ m}^2/\text{d}$

ב. מהנספח בהשוואת הערך שבסעיף א' ברור שהאקוויפר מתאים חלקית להפקת מים אזורית (אקוויפר מסוג 2)

5.4

- א. ערכו של β יחושב מ-2 נקודות הקצה שעל הגרף. אי לכך הנקודה הראשונה תקבל את סט הערכים $(0, 0.035)$ (נק' α) והשנייה ע"י $(300, 0.065)$ ועל כן ערכו יחושב ע"י $(0.065 - 0.035) / 300 = 10^{-4} \text{h}^2/\text{m}^5 = 0.36 \text{min}^2/\text{m}^5$
- ב. מהטבלה שבנספח 8 מסננת מתוכננת ומתפקדת בצורה יעילה (β קטן מ-0.5)
- ג. β מבטא את ההפרעה הטורבולנטית לזרימה בקרבת המקדח כתוצאה מקיומה של מעטפת החצץ. ככל שערכו נמוך יותר, כך המסננת מותאמת יותר וקטנה ההפרעה לזרימה החלקה שבקרבת המקדח.

שאלה 6 בדף הבא

פתרון מוצע לבחינה במערכות מים (חלק בנושא איגום ומאגרים)

מועד א' תשע"ז , חודש שנה
 מחבר: מר/גב' שי הרר מכללת אורט בראודה

שאלה מספר 6

סעיף 6.1

פתרון כל הסעיפים בטבלה הבאה:

נפח מצטבר [מ"ק]	תוספת נפח [מ"ק]	שטח [מ"ר]	אורך קו דיקור [מ']		רום המאגר [מ']
			רוחב	אורך	
	-	6,000.0	60.0	100.0	-
6,585	6,585	7,169.0	67.0	107.0	1.0
14,387	7,803	8,436.0	74.0	114.0	2.0
23,506	9,119	9,801.0	81.0	121.0	3.0
34,038	10,533	11,264.0	88.0	128.0	4.0
46,083	12,045	12,825.0	95.0	135.0	5.0
59,732	9,729	14,484.0	102.0	142.0	6.0

סעיף 6.2

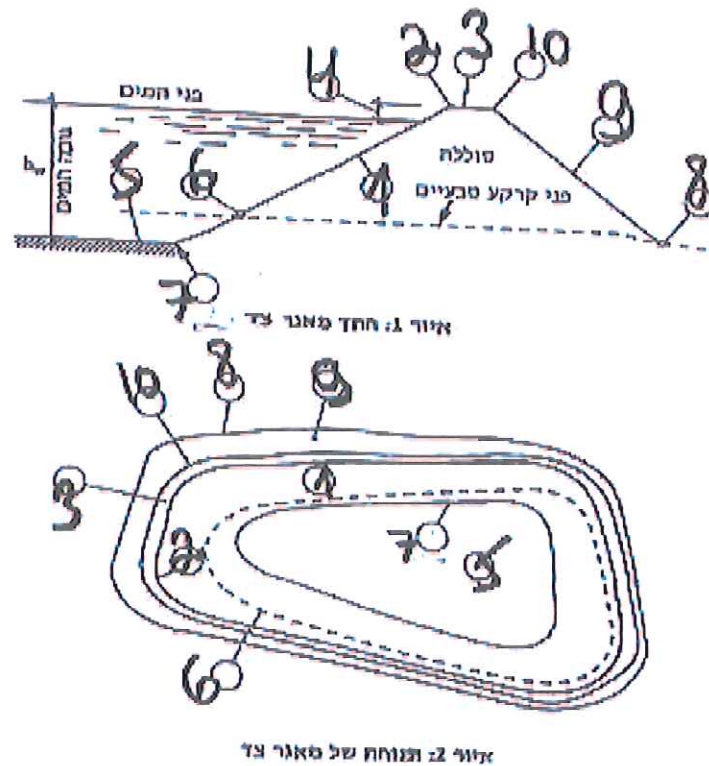
א. גובה המים המותר במאגר: $h(max) = 6m - 0.7m = 5.3m$
 ב. חישוב נפח המים המרבי בטבלה הבאה:

נפח מצטבר [מ"ק]	תוספת נפח [מ"ק]	שטח [מ"ר]	אורך קו דיקור [מ']		רום המאגר [מ']
			רוחב	אורך	
46,083	12,045	12,825.0	95.0	135.0	5.0
50,003	3,921	13,312.4	97.10	137.10	5.3

$$Vt(max) = 50,000m^3$$

ג. נפח האיגום המתוכנן 50,000 מ"ק עומד בדרישות הבלט המותר.

סעיף 6.3



הגדרות של מבנה המאגר:

1. חפץ הפנימי של הסוללה (כלפי המים)-מדרון מעלי או דופן פנימית.
2. קו דיקור עליון פנימי.
3. דרך קודקוד הסוללה.
4. בלט הסוללה.
5. קרקעית המאגר: השטח הפנימי לאחר החפירה, המוקף ע"י רגל פנימית.
6. קו האפס: הגבול בין אזור החפירה לאזור המילוי.
7. הרגל הפנימית של הסוללה: המפגש בין חפץ המעלי לקרקעית המאגר, (לאחר החפירה).
8. הרגל החיצונית של הסוללה: המפגש בין המידרון המורדי לפני הקרקע הטבעיים.
9. חפץ החיצוני של הסוללה: מידרון מורדי או דופן חיצונית.
10. קו דיקור עליון חיצוני.

נספח 1 - טבלאות אחוזי נקבוביות מתנקזות לפי סוג קרקע

סוג הקרקע	נקבוביות מתנקזת % תחום	נקבוביות מתנקזת % ממוצע
חרסית	0-5	2
חרסית חולית	3-12	7
טיין	3-19	18
חול עדין	10-28	21
חול בינוני	15-32	26
חול גס	20-35	27
חול חצצי	20-35	25
חצץ עדין	21-35	25
חצץ בינוני	13-26	(23)
חצץ גס	12-26	22

טבלה A

Material	Specific Yield		Average %
	Maximum	Minimum	
Clay	5	0	2
Sandy Clay	12	3	7
Silt	19	3	18
Fine sand	28	10	21
Medium sand	32	15	26
Coarse sand	35	20	27
Gravelly sand	35	20	25
Fine gravel	35	21	25
(Medium gravel)	26	13	(23)
Coarse gravel	26	12	22

טבלה B

מועד הבחינה: קיץ תשע"ז - 2017

מספר השאלון: 91225

נספח 2 – לשאלה 2 (סעיפים 2.2 ו-2.3)

מאמצי גזירה מותרים T_{max} , מהירות מותרת V_{max} ומקדם מאנינג n , לפי חיפוי הקרקע

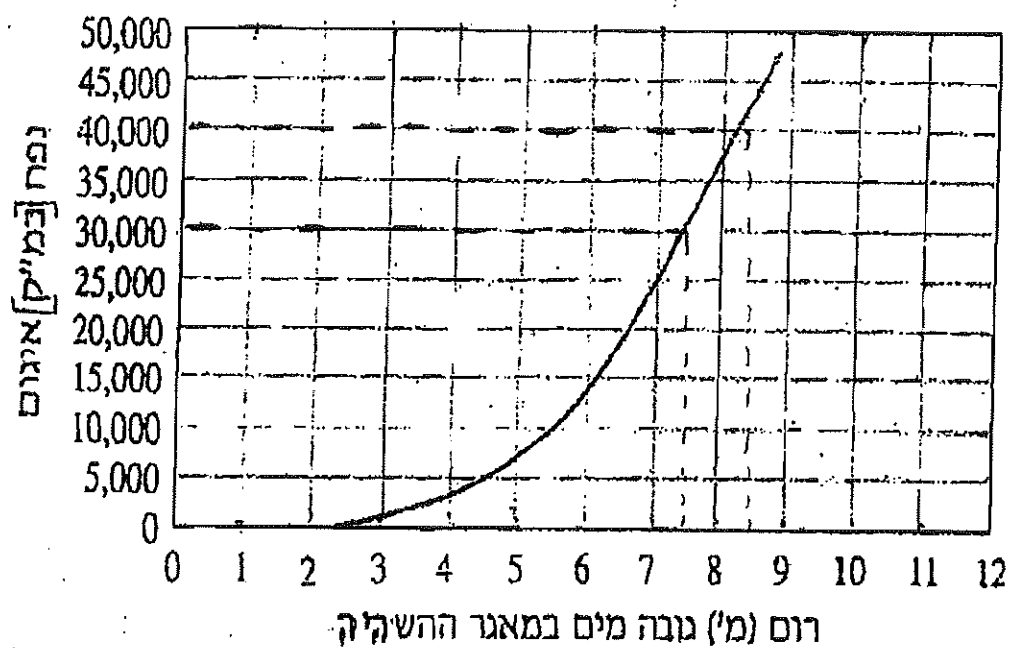
סוג חיפוי הקרקע	מהירות מותרת (מטר/שנייה)	מאמצי גזירה מותרים (ניוטון/מ"ר)	מאמצי גזירה מותרים (ק"ג/מ"ר)	מקדם מאנינג n
צמחייה	(מטר/שנייה)	(ניוטון/מ"ר)	(ק"ג/מ"ר)	0.033
Class A	3.0	177.0	17.70	0.032
Class B	(2.4)	101.0	(10.10)	0.030
Class C	(2.1)	49.0	(4.90)	0.029
Class D	1.5	29.0	2.90	0.027
Class E	1.0	17.0	1.70	0.025
קרקע חשופה	0.9	3.5	0.35	0.023

חיפוי הקרקע בצמחייה מסווג לפי דרגות E-A

מועד הבחינות: קיץ תשע"ז - 2017

מספר השאלון: 92225

נספח 3 לשאלה 3 - סעיף 3.3 - עקום רום - קיבול (נפח) של אתר איגום סיכרון השהייה



מועד הבחינה: קיץ תשע"ז - 2017

מספר השאלון: 91225

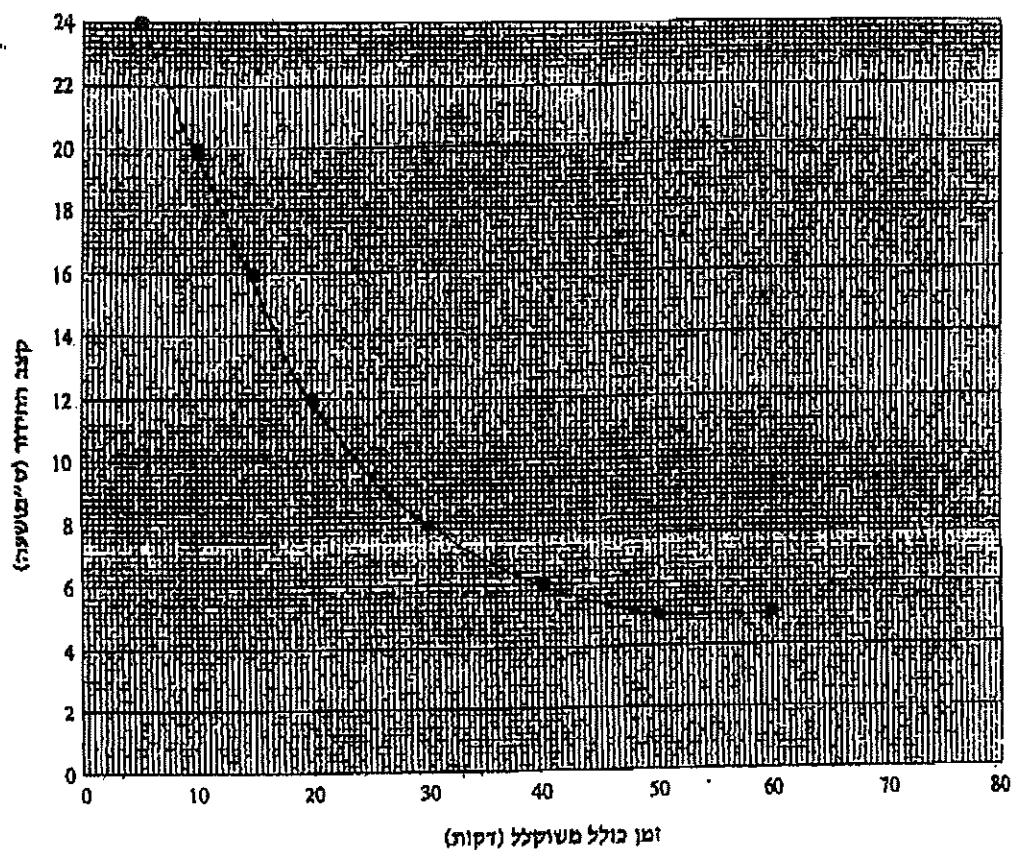
מספר ת.ז. _____

מספר מחברת: _____

נספח 4 (לשאלה 4) סעיף 4.3

סרטוט עקום: קצב חידור (ס"מ/שעה)

כנגד זמן כולל משוקלל (בדקות)



מועד הבחינה: קיץ תשע"ז - 2017

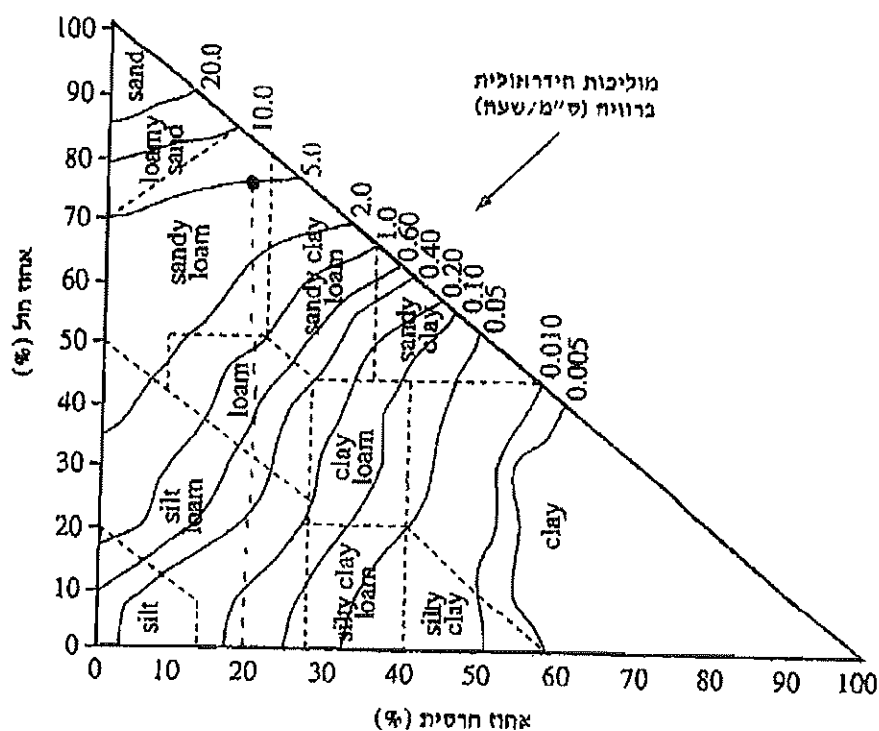
מספר תשאלון: 92225

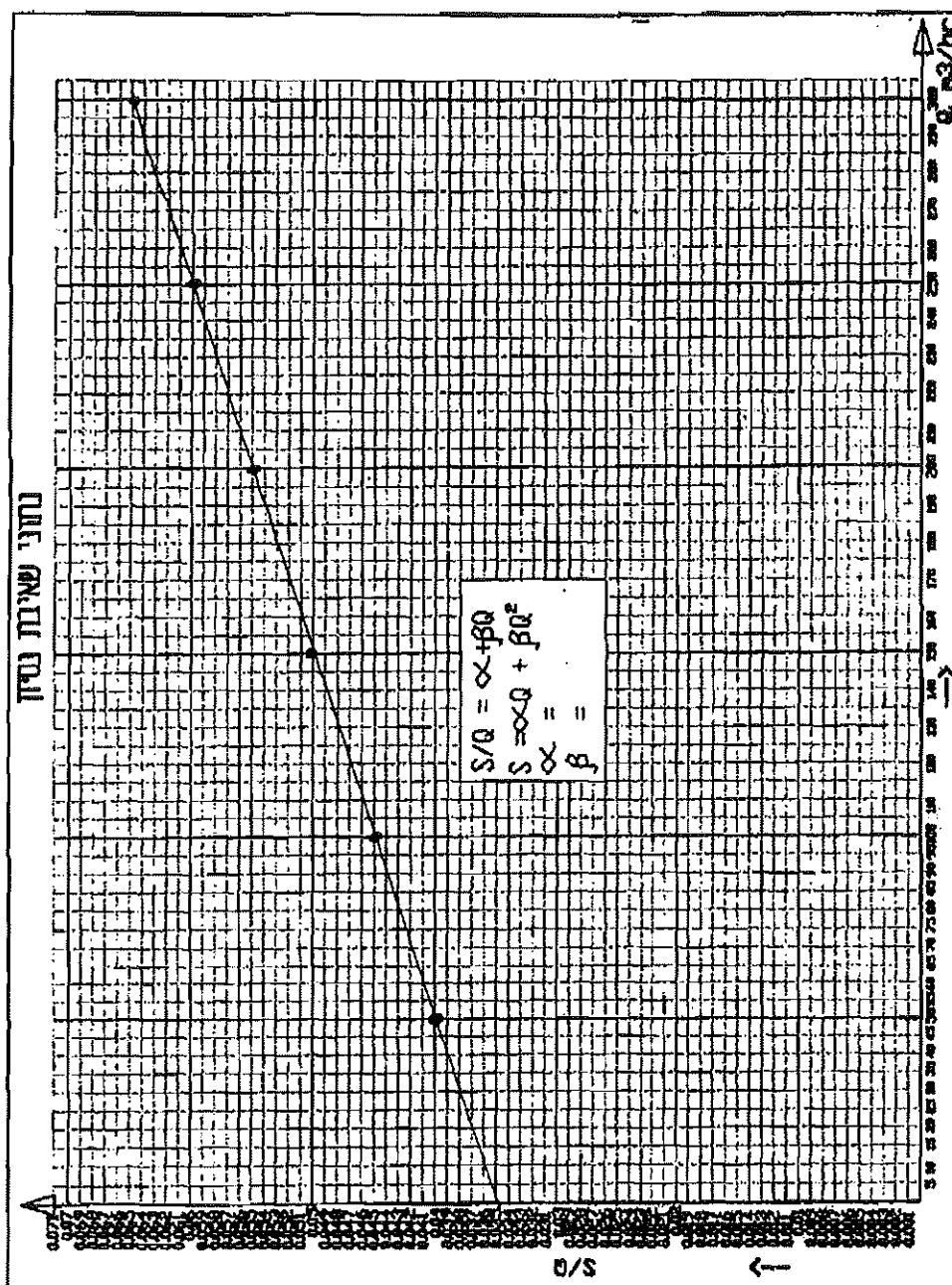
מספר ת.ז. _____

מספר מחברת: _____

נספח 5 (לשאלה 4): סעיף 4.4

משולש מיון קרקעות ועקומות שוות מוליכות הידראולית ברוויה (ס"מ לשעה)





נספח 7: שאלה 5 (סעיף 5.3)

טבלה מס' 1: הערכת מאפייני האקוויפר מהספיקה היחסית

מאפייני האקוויפר לחפזות מים	ציון יחסי	מיון האקוויפר	$\tau \left(\frac{m^2}{day} \right)$ תולכח	$\frac{1}{\alpha} = \frac{Q}{S_w} \left(\frac{m^2}{day} \right)$ ספיקה יחסית
מאפייני לחפזות מים אזורית Regional Importance	גבוה מאוד	I	> 1000	> 864
מאפייני חלקית לחפזות מים אזורית Lesser Regional Importance	גבוה	II	$100 - 1000$	$864 - 86.4$
מאפייני לחפזות מים מקומית Local water supply	בינוני	III	$10 - 100$	$86.4 - 8.64$
מאפייני לחפזות מים למקור בודד Private Consumption	נמוך	IV	$1 - 10$	$8.64 - 0.864$
מאפייני לחפזות מים מוגבלת Limited Consumption	נמוך מאוד	V	$0.1 - 1$	$0.864 - 0.0864$
מאפייני לחפזות מים מוגבלת Very difficult to utilize for local water supply	לא מעשי	VI	< 0.1	< 0.0864

חשיבות:

- הפרמטרים של משוואת הישר הם α ו- β .
- משיפוט הישר (פרמטר β) נזקק להעריך באמצעות טבלה מספר 2 את השפעת המטען על הפקת המים מחבצת.
- מחפזות היחסית (ששווה לעצמה ל- $1/\alpha$) אפשר להעריך את מאפייני האקוויפר באמצעות טבלה מספר 1.
- יש להעריך ולחזות את המגלים ליחידות המפורטות בכל טבלה.

מועד הבחינות: קיץ תשע"ז • 2017

מספר השאלון: 91225

נספח 8 לשאלה 5 (סעיף 5.4)

הידרולוגיה – קידוחי מים

$$\frac{S_w}{Q} = \alpha + \beta \times Q$$

טבלה מסמך 2: השפעת המסננות על חמקת המים מהבאר

Well Loss Coefficient $\beta \left(\frac{\text{min}^2}{\text{m}^5} \right)$	השפעת המסננות על חמקת המים מהבאר	
<u>< 0.5</u>	property designed and developed	מתוכננת ומתפתחת בצורה יעילה.
0.5 – 1	Mild deterioration or clogging	מפוחות. סתימה חלקית במסנן עקב זליגת דגורים דקים לתוכו.
1 – 4	Severe deterioration or clogging	מפוחות. סתימה משמעותית במסנן עקב זליגת דגורים דקים לתוכו.
> 4	Difficult to restore well to original capacity	מצב חמור עם מסנן כמעט סתום. כמעט בלתי אפשרי לשקם את הבאר.