

ריכוז יסודות בתמיסת הקרקע ובמי תהום שמקורם באפר פחם (למקורותיו השונים)

המצוי בבמס"א המפוזר בשדה החקלאי

דו"ח מוגש למנהלת אפר הפחם

ע"י

פרופ' רמי קרן

ספטמבר 9, 2013

במס"א משמש כדשן אורגני בשדות חקלאים. לאחר פיזורו בשדה חקלאי מומסים יסודות שונים מאפר הפחם, המהווה חלק מהבמס"א, שעוברים למי הקרקע שנעים לכיוון מי תהום. להלן נבחנות שתי ההיפותזות: 1. ריכוז היסודות ארסן, קדמיום, עופרת וכספית בתמיסת הקרקע שמקורם בבמס"א המפוזרת בשדה בשיעור של 5 טון לדונם הוא נמוך באופן משמעותי מהתקן הישראלי למי שתייה ו-2. שכמות היסודות המגיעה למי תהום שמקורם באפר הפחם המצוי בבמס"א אינה גורמת לזיהום משמעותי של מי תהום.

1, ריכוז היסודות שמקורם בבמס"א בתמיסת הקרקע

ריכוזי היסודות ארסן, קדמיום, עופרת וכספית בתמיסת הקרקע מחושבים על בסיס ההנחות הנתונות להלן אשר מתארות מצב מחמיר שאינו קיים בטבע. בטבע מתקיימת אינטראקציה (ספיחה) של היסודות ארסן, קדמיום, עופרת וכספית עם החרסית ומרכיבי הקרקע אחרים, 2. מתקיימת שטיפת יסודות אלה עם מי הגשמים אל מתחת לבית השורשים ו-3. לא כל כמות היסודות המשתחררים מאפר הפחם משתחררים בנקודת זמן אחת אלא וקיים פיזור לאורך זמן.

להלן ההנחות המחמירות בבסיס החישובים:

1. לא מתקיימת ספיחת היסודות על מרכיבי הקרקע
2. לא מתקיימת שטיפת היסודות אל מתחת שכבת הקרקע העליונה של 20 ס"מ
3. כל היסודות השטיפים מאפר הפחם עוברים לתמיסת הקרקע מיד עם פיזור הבמס"א

תנאי המערכת הם:

1. פיזור במס"א בשיעור 5 טון לדונם (= אפר פחם בשיעור 2 טון לדונם).
2. עומק שכבת הקרקע בה מפוזר הבמס"א – 20 ס"מ עליונים בפרופיל הקרקע
3. תכולת המים בקרקע היא בקיבול שדה

ריכוז היסודות בתמיסת הקרקע בשכבה של 20 ס"מ (מחושב על בסיס ההנחות המחמירות) עבור 3 טיפוסים קרקעות (חרסיתית, לס וחולית סילטית) נתונים בטבלה 1.

טבלה 1: ריכוז היסודות בתמיסת הקרקע בשכבה של 20 ס"מ (מחושב על בסיס ההנחות המחמירות)

תקן ישראלי למי שתיה מיקרוגרם לליטר	ריכוז היסוד בתמיסת הקרקע בשכבה של 20 ס"מ מיקרוגרם לליטר	היסוד	סוג הקרקע ותכולת רטיבות בקיבול שדה, θ
			קרקע חרסיתית $\theta=44\%$
50	3.70	ארסן	
5	0.27	קדמיום	
10	0.29	עופרת	
1	0.01	כספית	
			קרקע לס $\theta=24\%$
50	6.79	ארסן	
5	0.49	קדמיום	
10	0.52	עופרת	
1	0.01	כספית	
			קרקע סילטית חולית $\theta=20\%$
50	8.15	ארסן	
5	0.59	קדמיום	
10	0.63	עופרת	
1	0.01	כספית	

כאשר כל היסודות הרלוונטים (ארסן, קדמיום, עופרת וכספית) מתמוססים בתמיסת הקרקע בשכבה העליונה של 20 ס"מ כאשר שיעור פיזור הבמס"א הוא 5 טון לדונם, ריכוזם בתמיסת הקרקע הוא נמוך באופן משמעותי מתקן מי השתייה הישראלי (טבלה 1).

לאור ההנחות המובאות לעיל מתארות מצב מחמיר שאינו קיים בטבע. בטבע חלה אינטראקציה (ספיחה ושחרור) של היסודות עם החרסית ומרכיבי הקרקע אחרים, עומק שכבת בית השורשים אף עמוקה מ-30 ס"מ, שטיפתם של היסודות חלה במיוחד בתקופת החורף עם מי הגשמיח ולא כל כמות היסודות המשתחררים מהבמס"א משתחררים בבת אחת. מכאן נובע שהריכוזים הנתונים בטבלה 1 מתארים מצב קיצון שאינו ריאלי. ריכוזי היסודות המתקבלים במי הקרקע הם למעשה נמוכים מהריכוזים המופיעים בטבלה 1. לאור ההנחות המחמירות, ניתן לפזר את הבמס"א בשדה עם קרקע חרסיתית במשך 13 שנים רצופות לפחות ו-7 שנים רצופות בקרקע לס מבלי להגיע לריכוז היסודות הנ"ל בתמיסת הקרקע המושקת במי שתייה. תנאים אלה הם המחמירים ביותר משום

שבטבע מתקיימת ספיחה של יסודות אלה על מרכיבי הקרקע השונים וחלקם נשטף אל מתחת לבית השורשים עם מי הגשמים ובכך אפשר לפזר את הבמס"א בשעור של 5 טון לדונם לשנה אף יותר שנים ברציפות ללא חשש שריכוזם של 4 היסודות בצמח יעלה על ריכוזם בצמחים המושקים במי שתייה.

התוצאות מעידות שאין חשש מפיזור הבמס"א גם בהנחות המחמירות ביותר (כל תכולת היסודות עוברות לפזה המימית בקרקע בשבה של 20 ס"מ, לא מתקיימת ספיחה על מרכיבי הקרקע, לא מתקיימת שטיפה אל מתחת לשכבה של 20 ס"מ). לאור נתוני הקרקע, אין חשש שריכוזי היסודות הנ"ל בצמח יהיו גבוהים מזה המתקבל כאשר משקים את הגידול במי שתייה משום שריכוזי היסודות המופיעים בטבלה 1 נמוכים באופן משמעותי מהתקן הישראלי למי שתייה. הריכוזי התקן הישראלי למי שתייה נתונים בטבלה 3 (יחידות הריכוז מבוטאים ב- $\mu\text{g/L}$).

2. ריכוז היסודות (שמקורם בבמס"א) במי תהום

להלן ההנחות המחמירות בבסיס החישובים:

1. כמות הבמס"א המפוזרת השטח חקלאי היא 5 טון לדונם. תכולת אפר הפחם בבמס"א היא 40% על בסיס משקל יבש.
2. תכולת היסוד המסיס באפר הפחם נלקחה מתוצאות מבחני התמוססות במים ביחס 1:10 (מים מזוקקים:אפר פחם יבש על בסיס משקלי).
3. הערך שנלקח לחישוב הוא הערך המירבי שהתקבל במבחני ההתמוססות בין השנים 2007-2012.
4. כל תכולת היסוד המסיסה במים מתמוססת באופן מידי (עוברת מהפאזה המוצקה של אפר הפחם המרחף לפאזה הנוזלית בקרקע).
5. היסוד נע בקרקע לאורך מימד Z (ציר אנכי) לכיוון מי תהום בזרימת בוכנה כאשר ריכוז היסוד בנפח הנוזל הנע הוא אחיד. הנפח הנע זניח ביחס לנפח מי תהום לאותו שטח.
6. היסוד אינו מגיב עם מרכיבי הקרקע ופתלתלות המדיום המוליך אינה גורמת לפיזור היסוד.
7. כל כמות היסוד בנפח המים הנע לכיוון מי תהום מגיע למי תהום בצורה מרוכזת ונמהל באופן אחיד במי תהום באופן אחיד לכל עומק האקויפר ללא התפשטות בצירים X ו-Y (צירים אופקיים).
8. נפח המים באקויפר נע במהלך השנה כך שהיסוד המגיע למי התהום מאפר הפחם המרחף המוסף בשנה העוקבת מתערבב עם גוף מים חדש באקויפר שאינו מכיל את היסוד המתמוסס מהשנה הקודמת.
9. הנקבובית הנפחית באקויפר היא 25%.
10. עומק האקויפר הוא 60 מטר (אקויפר החוף).

ההנחות הנתונות לעיל מתארות מצב מחמיר שאינו קיים בטבע. בטבע חל פיזור היסוד בקרקע במהלך תנועתו לכיוון מי תהום משלש סיבות עיקריות: 1. אינטראקציה (ספיחה ושחרור) של היסוד עם החרסית ומרכיבי הקרקע אחרים, 2. פתלתלות הדרך ו-3 דיפוזיה. ככל שתכולת החרסית בקרקע גבוהה יותר כך גם גדלה דרגת הפיזור.

מכאן נובע שהריכוזים הנתונים בטבלה 2 מתארים מצב קיצון שאינו ריאלי. ריכוזים המתקבלים במי התהום הם הגבוהים ביותר הניתנים להשגה משום ההנחות המחמירות ובגלל השימוש בריכוז היסוד המרבי שהתקבל במבחני ההתמוססות בין השנים 2007-2012.

טבלה 2: ריכוזי היסודות במי תהום באקוויפר החוף לאחר מיהול נפח התמיסה המכיל את היסודות המומסים מאפר הפחם בבמס"א המוסף בשנה אחת (אפר פחם בשיעור 2 טון לדונם).

ריכוז היסוד במי תהום, $\mu\text{g/L}$										מקור הפחם
בורן B	ונדיום V	סלן Se	מנגן Mn	מוליבדן Mo	כרום Cr	עופרת Pb	כספית Hg	קדמיום Cd	ארסן As	
35.1	3.4	0.6	0.01	4.2	0.9	0.07	3×10^{-4}	0.009	0.7	רוסיה
32.0	-	0.5	8×10^{-3}	1.2	0.3	0.01	4×10^{-5}	0.002	0.1	אינדונזיה
1.0	0.05	0.05	4×10^{-3}	0.4	0.6	0.01	3×10^{-5}	0.001	0.005	דרום אפריקה
14.3	0.6	1.7	4×10^{-3}	2.5	0.7	0,006	3×10^{-5}	0.004	0.02	קולומביה Drummond
31.3	0.7	2.3	4×10^{-3}	3.6	0.5	0.001	4×10^{-5}	0.006	0.04	קולומביה CMC -cerD
1.0	0.1	0.01	4×10^{-3}	3.8	0.3	0.007	1×10^{-4}	0.01	0.2	קולומביה Glenecore-cal
20.9	0.7	1.5	0.01	0.6	0.2	0.002	4×10^{-5}	0.001	0.007	אוסטרליה

התוצאות המחושבות, המתארות מצב קיצון עליון, נמוכות באופן משמעותי מהריכוזים בתקן מי השתייה (טבלה 2). לדוגמא, ריכוז הארסן המחושב הנתון בטבלה 2 ($0.7 \mu\text{g/L}$) הוא הגבוה ביותר הנתרם ע"י אפר פחם מרחף שמקורו מפחם המגיע מרוסיה, בעוד שריכוזו

בתקן הישראלי למי שתייה הוא $10 \mu\text{g/L}$. גם ריכוזי יתר היסודות המופיעים בטבלה 2 נמוכים באופן משמעותי מהתקן הישראלי. הריכוזים על פי התקן הישראלי נתונים בטבלה 3 (יחידות הריכוז מבוטאים ב- $\mu\text{g/L}$). מבין מקורות הפחם השונים הנתונים בטבלה 2, ריכוזי היסודות המסיסים במי התהום הנובעים מאפר הפחם המרחף שמקורו מפחם המגיע מרוסיה הם הגבוהים ביותר אך עדין נמוכים באופן משמעותי מהתקן הישראלי.

טבלה 3: תקן ישראלי למי שתייה

ריכוז, $\mu\text{g/L}$	יסוד
10	ארסן
5	קדמיום
1	כספית
10	עופרת
50	כרום
70	מוליבדן
200	מנגן
10	סלן

לסיכום, במצב הקיצון לאור ההנחות המחמירות, ריכוז היסודות במי תהום שמקורם בבמס"א שפוזר בשדה בשיעור של 5 טון לדונם הם נמוכים באופן משמעותי מהתקן הישראלי למי שתייה. חשוב לציין שהריכוז הראלי של יסודות אלה במי תהום יהיה אף נמוך יותר בגלל פיזורם בפרופיל הקרקע בעת תנועתם לכיוון מי תהום. פיזור זה נובע מתהליכי ספיחה החלים בקרקע, מפתלתלות הדרך ודיפוזיה. מרכיבי הספיחה ופתלתלות הדרך בפיזור גדלים עם העלייה באחוז החרסית בקרקע.