



שטח בטיחות קרינה תחום מדידות קרינה

רדיואקטיביות בתוצרת חקלאית

דוח זה מציג את תוצאות המחקר העוסק בהשפעת ריכוזים גבוהים של רדיום במי השקיה על תוצרת חקלאית. בשלושה ניסויים נבחנה הסוגיה של השקיה במים בעלי ריכוז גבוה של רדיום על ריכוז הרדיום בתוצרת החקלאית- בירקות, בפירות ובצמחי עלווה ושורש והשלכותיה הרדיולוגיות, וכן סוגיית הצטברות הרדיום בקרקע. בניסוי השלישי הושקו הליזימטרים במי שיזפון ובמי ביקורת, גם הליזימטרים שהושקו בעברבמים מועשרי רדיום וזאת במטרה לבדוק שחרור רדיום ספוח בקרקע ומעברו לתוצרת החקלאית. במסמך זה מפורטות תוצאות האקטיביות בתוצרת החקלאית, היסטורית ההשקיה לפי הליזימטרים השונים, אקטביטיות הרדיום המנורמלת ותלותה בכמות האקטיביות המצטברת, וכן תוצאות ניסוי הספיחה שאיפשר כיוול הקבועים המשמשים להרצת המודל, ותוצאות המודל.

תוצאות תוצרת חקלאית

דוגמאות תוצרת חקלאית הופרדו לעלים ופירות, והדוגמאות נמדדו לאחר יבוש, חלקן לאחר שרפה וחלקן לאחר יבוש וטחינה. תוצאות המדידות הרדיואקטיביות מובאות בטבלה 1 להלן ומבוטאות ביחידות של בקרל/ק"ג תוצרת טרייה. ריכוז הרדיום היה נמוך הן בפירות המלון והמלפפונים והן בשורש הצנון בהשוואה לריכוז הרדיום בעלים של הגידולים הנזכרים לעיל.

טבלה מס' 1: ריכוז תוצאות מדידות רדיואקטיביות של התוצרת החקלאית שגדלה בליזימטרים

ניסוי 3			ניסוי 2		ניסוי 1		
עלי חסה	עלי צנון	שורש צנון	עלי מלון	מלון	עלי מלפפון	מלפפון	גידול
8.4±1.0	14.8±1.5	3.4±0.5			177±9	6.6±1	ליז 1
9.0±1.1	7.7±0.9	3.1±0.5					ליז 2
6.4±0.8	17.1±1.7	3.4±0.5	65.9±2.5	2.56±0.09			ליז 3

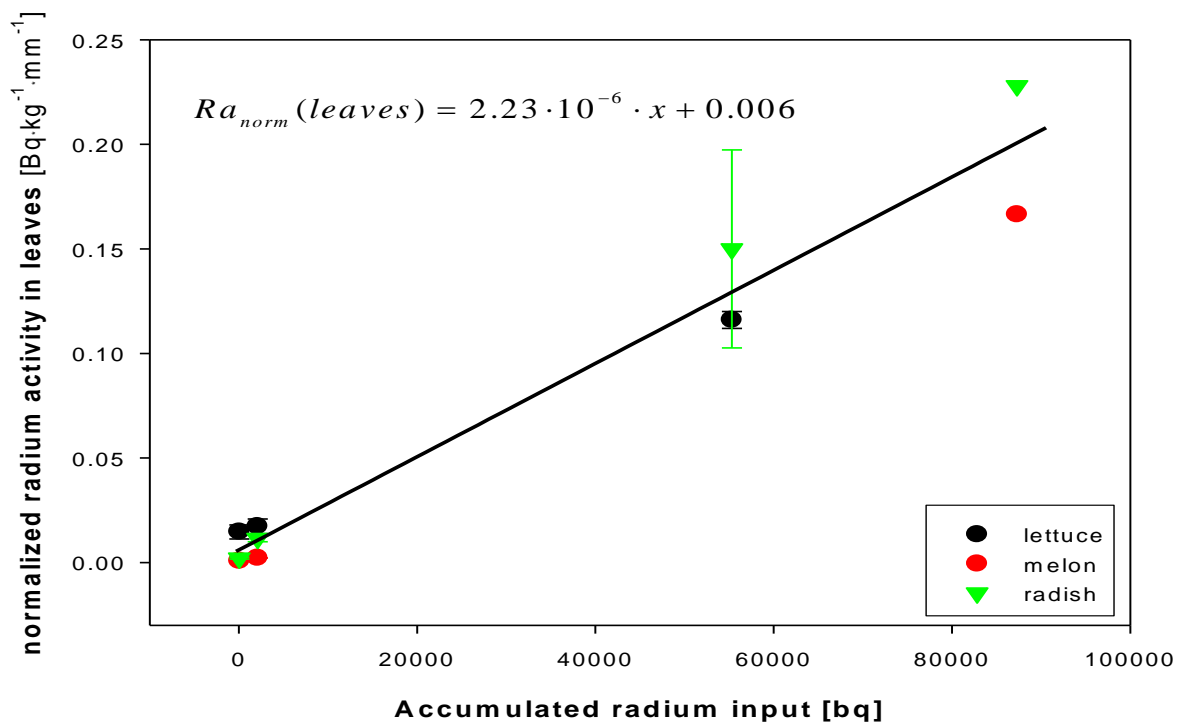
1.8±0.4	1.1±0.2	<0.16	0.80±0.08	<0.33	1.7±0.3	<0.6	ליז 4
0.9±0.2	0.8±0.2	0.4±0.1	0.87±0.07	<0.15			ליז 5
1.2±0.3	0.7±0.2	<0.16	0.91±0.08	<0.13			ליז 6
1.6±0.3	<0.21	<0.12	0.24±0.05	<0.12	1.0±0.2	<0.6	ליז 7
0.9±0.2	<0.17	<0.36	0.39±0.16	<0.3			ליז 8
0.8±0.2	<0.09	<0.12	0.26±0.05	<0.17			ליז 9

סיכום היסטוריית ההשקיה של כל ליזימטר מובאת בטבלה מס' 2 וכוללת את אקטיביות הרדיום הכוללת בה הושקה הליזימטר בכל ניסוי.

טבלה מס' 2: היסטוריית ההשקיה של כל ליזימטר ואקטיביות הרדיום בה הושקה הליזימטר בכל ניסוי (בקרל).

ניסוי 3		ניסוי 2		ניסוי 1		מס ליזימטר
816	מי שיזפון	2500	גידול בעל	52800	מים מעשרי	ליז 1
816		2500		52800		ליז 2
816		34500	מים מעשרי רדיום	52800	רדיום	ליז 3
816		1242	מי שיזפון	864	מי שיזפון	ליז 4
816		1242		864		ליז 5
816		1242		864		ליז 6
15	מי קו	28	מי קו	20	מי קו	ליז 7
15		28		20		ליז 8
15		28		20		ליז 9

אקטיביות הרדיום (למשקל טרי מנורמלת לטרנספירציה) ותלותה בכמות הרדיום המצטברת בליזימטר מוצגת באיור 1, עבור העלים. אקטיביות הרדיום בעלים תלויה ליניארית בכמות הרדיום המצטברת בקרקע הליזימטר ואיננה תלויה גידול כפי שנראה מתוך האיור. מתוצאות אלו ניתן לשער כי קליטת הרדיום ותנועתו בצמח תלויים בדיות (טרנספירציה) של הצמח, כלומר, הם תלויי מנגנון פיסיקלי ולא א-ביוטי.



איור 1: אקטיביות הרדיום (מנורמלת לטרנספירציה) ותלותה בכמות הרדיום המצטברת בליזימטר.

תוצאות דיגום פרופילי קרקע

תשעת הליזימטרים מכילים ריכוזים משתנים של רדיום בקרקע כפונקציה של היסטורית ההשקיה של כל ליזימטר וליזימטר (בדיקות הקרקע ביחידות בקרל/ק"ג על בסיס חומר יבש). באיור 2 להלן מופיעות תוצאות שלושה פרופילי הקרקע לליזימטר 1 שהושקה במים מסומנים, מכל שלושת הניסויים. תוצאות לניסוי מלון ולניסוי מלפפון מנורמלות לרדיום האזור הרווי מתחת לטפטפת, לפי משוואה 1.

$$r_s = \sqrt{\frac{4}{\alpha^2 \pi} + \frac{q}{\pi \cdot k_s} - \frac{2}{\alpha \pi}} \quad [1]$$

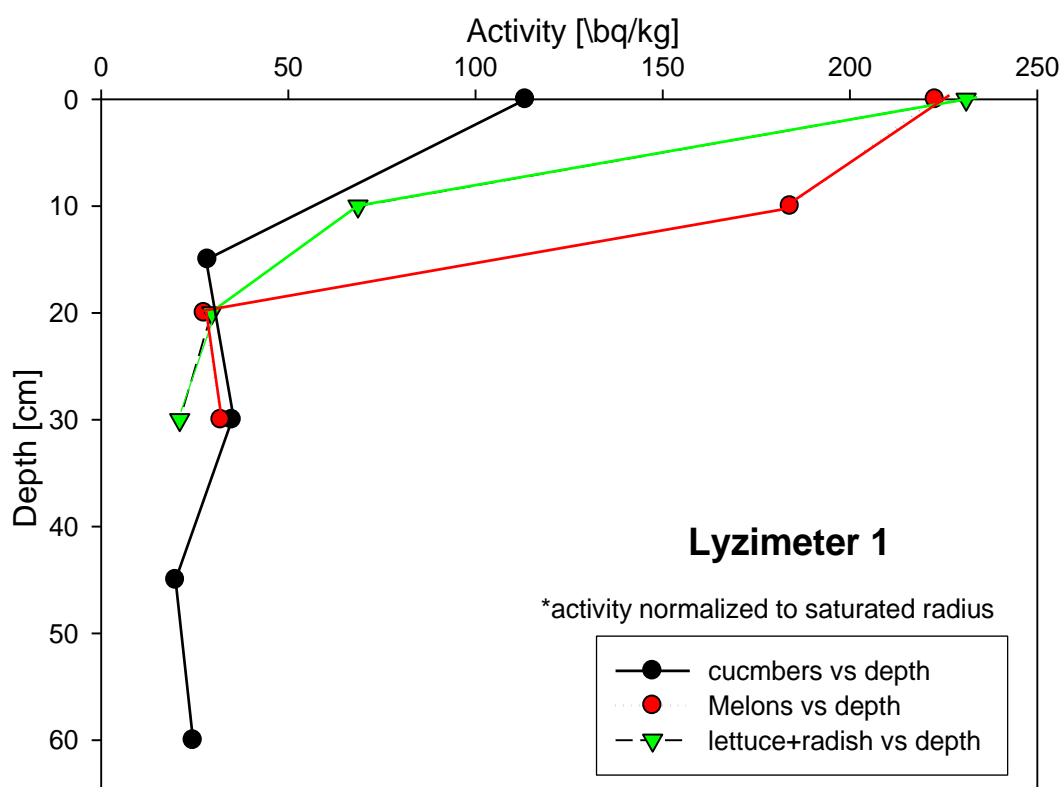
α הינו חזקת פונקצית המוליכות ההידראולית [cm⁻¹] (Gardner, 1958) מפורט בטבלה 3

Ks הינו המוליכות ההידראולית ברוויה מפורט בטבלה 3

q היא ספיקת הטפטפת [cm³]

טבלה מס' 3: הפרמטרים המכאניים והפיזיקאליים עבור הקרקע המקומית (Arava sandy loam) (קבוע הספיחה נקבע על פי איזותרמת הספיחה שהוצגה בדו"ח שב"ק 2.2-530).

תכונה		ערך	יחידות	מקור
הרכב מכאני (%)	חול	83		Shani et al. (1992)
	סילט	8		
	חרסית	9		
חומר אורגני (%)		1.3		
תכולת רטיבות נפחית ברוויה		0.36		
תכולת רטיבות נפחית שאריתית		0.03		
מוליכות הידראולית ברוויה (K_s)		360	$\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$	
חזקת פונקצית המוליכות ההידראולית (a)		0.033	cm^{-1}	
קבועי משוואות 4,5	λ	100	cm	
	K_d	2.13	$\text{lit}^3\cdot\text{Kg}^{-1}$	

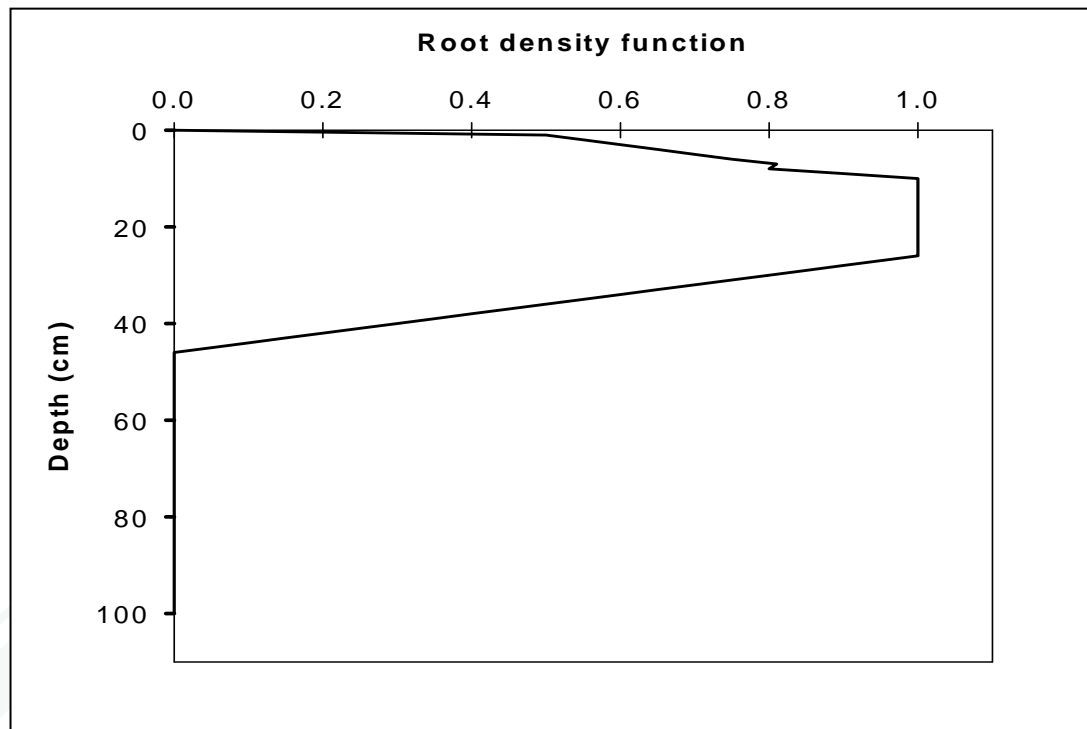


איור 2: תוצאות גלעיני הקרקע לליזימטר 1 בכל הניסויים (בניסוי השלישי נדגם יותר מגלעין אחד – באיור מוצג גלעין אחד) (העומקים מציינים את עומק הדיגום ההתחלתי שממנו נדגם גלעין ל-10 או 15 ס"מ).

ניתן לראות מאיור 2 כי ריכוז הרדיום בפני השטח עלה והתייצב על ערכים של בין 200 ל-250 בקרל לק"ג.

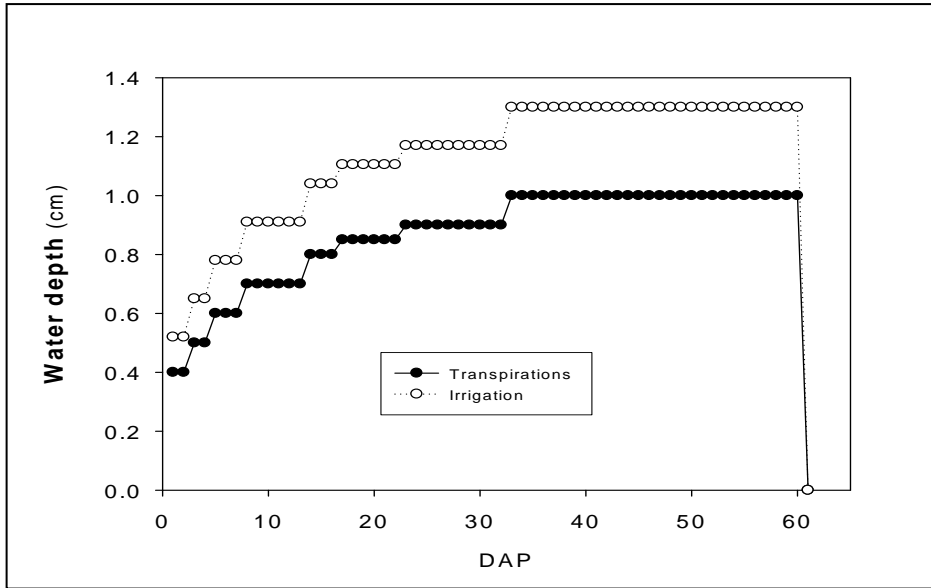
הסיבה לכך שריכוז הרדיום בניסוי המלונים בעומק 10 ס"מ גבוה פי 3 מניסוי החסה והצנון היא ככל הנראה מהטרוגניות ריכוז הרדיום בקרקע, מהשונות בקרקע עקב ההשקיה ובנוסף ההבדלים הטבעיים בין צמחים.

הרצת המודל, למשך 15 שנה, כללה שני מחזורי גידול בשנה, למשך 60 יום, בהשקיה יומית בשיעור של 13 מ"מ ליום (130% משיעור ההתאדות הפוטנציאלית - 10 מ"מ ליום). הסימולציה מביאה בחשבון את פונקצית קליטת המים לאורך עונת הגידול. פונקצית התפלגות השורשים בפרופיל הקרקע מוצג באיור 3.



איור 3: התפלגות השורשים בפרופיל הקרקע.

מהלך ההשקיה והאופוטונספירציה העונתי (קובץ הקלט של המודל) מתואר באיור 4. לקראת כל עונת גידול ניתנה מנת השקיה של 100 מ"ק לדונם (במי שיזפון) כמקובל להדחת מלחים.



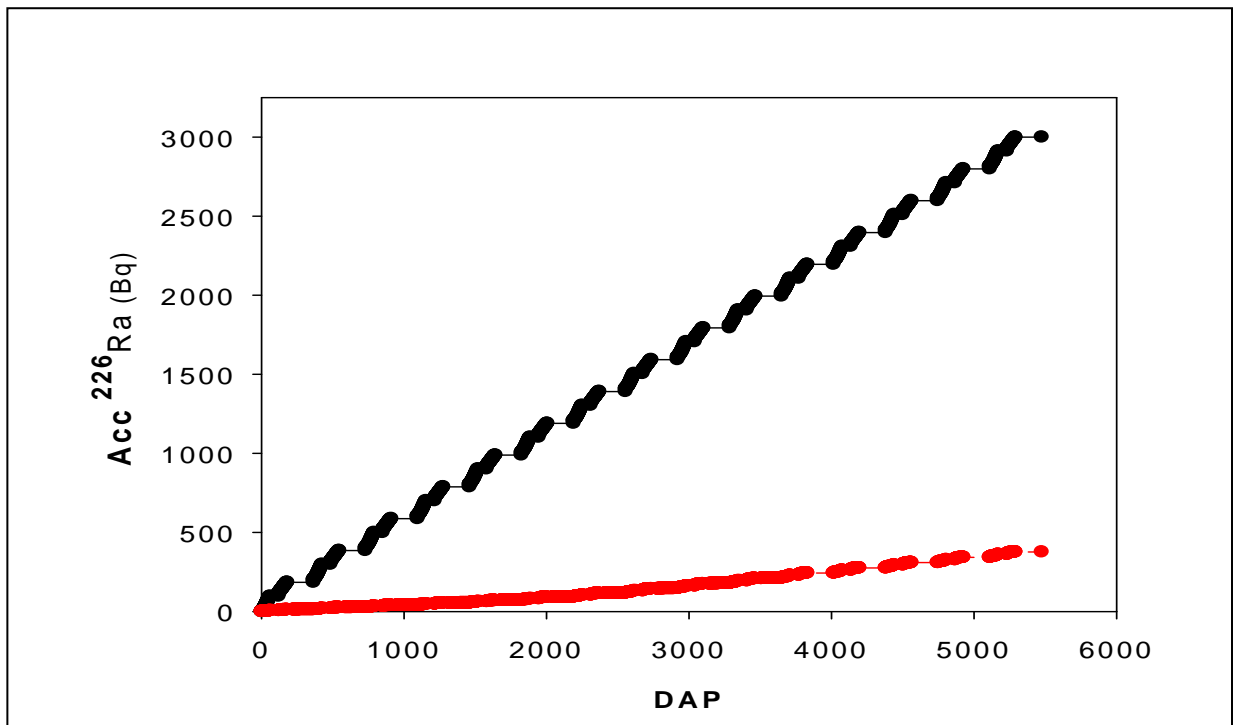
איור 4: שיעורי אופטרנספירציה והשקיה במהלך עונת הגידול.

חישוב פקטור המעבר מאקטיביות ביחידות של Bq ליחידות של ריכוז מולרי (M) בוצע לפי משוואה 2:

$$[M] = \frac{[Bq \cdot l^{-1}] \cdot t_{1/2}}{\ln(2) \cdot A} \quad [2]$$

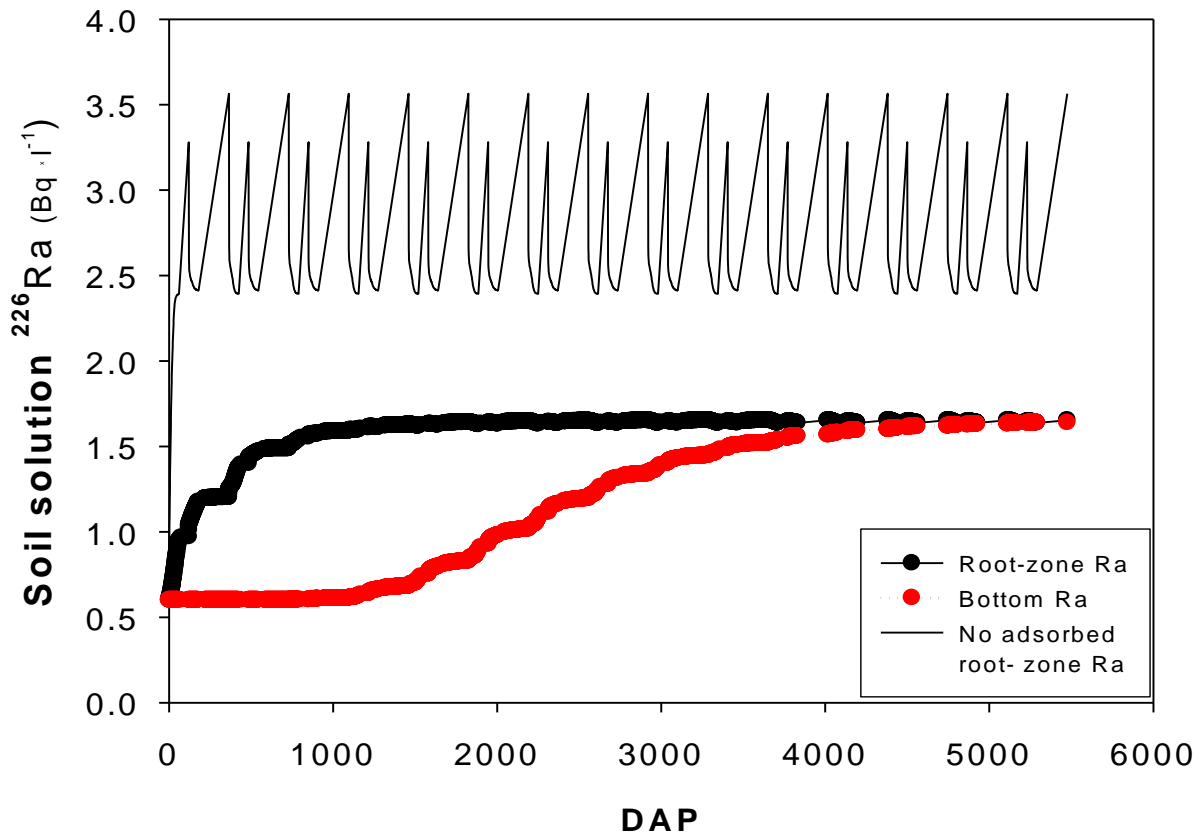
כאשר $t_{1/2}$ הינו זמן מחצית החיים של ^{226}Ra (בשניות) ו- A הינו מספר אבוגדרו ($6.02 \cdot 10^{23}$ אטומים במול).

שטפי הרדיום המגיע ממי ההשקיה ובמוצא הנקז מוצגים באיור 5. כמות הרדיום המגיע ממי ההשקיה במודל הייתה 3000 Bq. כמות הרדיום במוצא הפרופיל החלה לעלות לאחר כ 4 שנים, עקב עיכוב הרדיום כתוצאה מספיחתו אל הפאזה המוצקה. בהזנחת כמות הרדיום הנקלט על ידי צמחים, ניתן להעריך לפי סימולציה זו כי כמות הרדיום המצטבר בפרופיל (בתמיסה ובקומפלקס הסופח) היא הפרש בין כמות הרדיום הכוללת המגיע עם מי ההשקיה ובין כמות הרדיום שיוצא מהמערכת. כמות זו היא 2624 Bq. המרה ליחידות של כמות ליחידת משקל קרקע יבש מניבה תוספת רדיום של $1.87 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$.



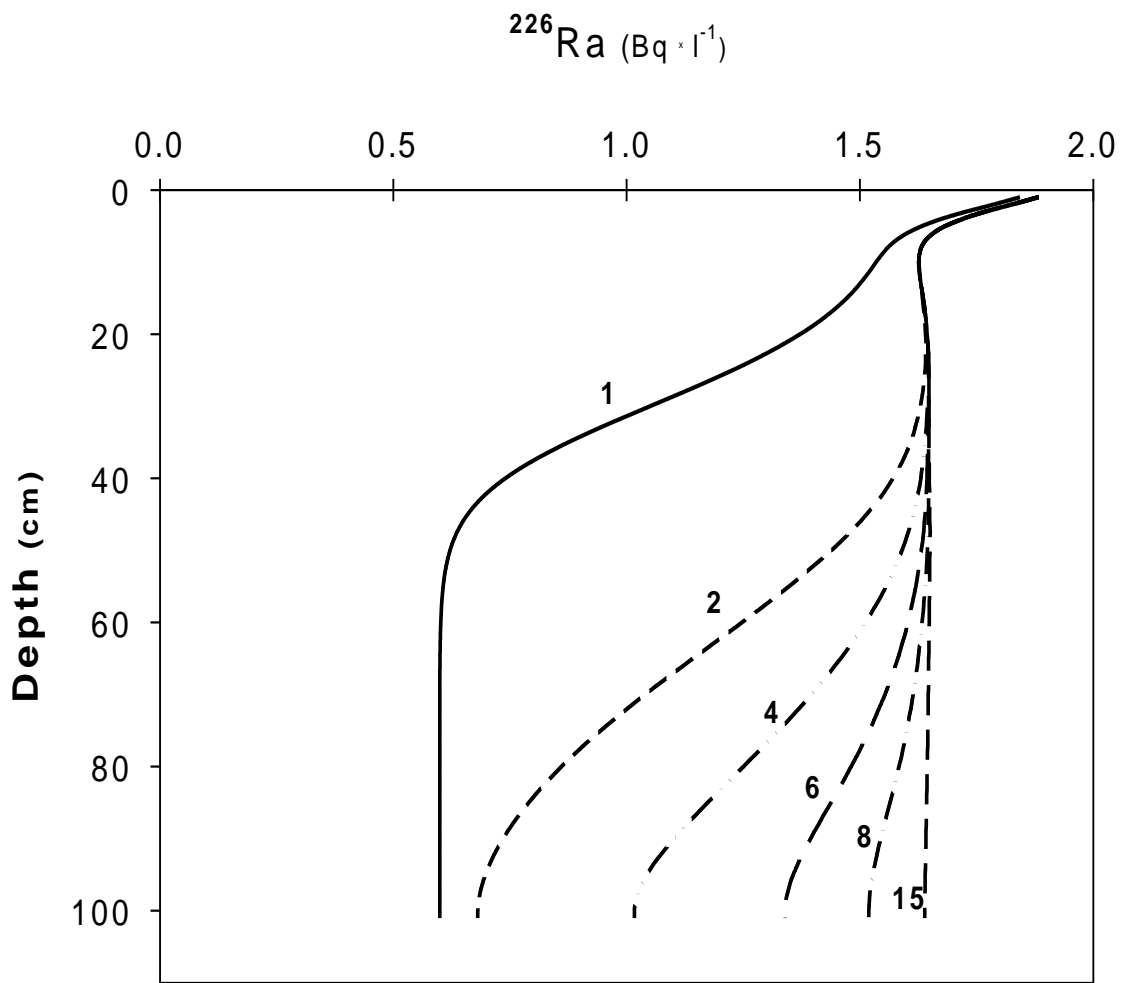
איור 5: כמות רדיום ^{226}Ra מצטברת במי ההשקיה (עקום שחור) ובמי הנקז (עקום אדום), לאורך 15 שנות גידול.

איור 6 המציג את ריכוז הרדיום הממוצע (הליניארי) בבית השורשים ואת ריכוזו בגבול התחתון של הפרופיל מראה כי לאחר 4 שנות השקיה במים בריכוז של $1.6 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ריכוז הרדיום בבית השורשים שומר על ערך קבוע. ריכוז שיווי המשקל דומה לריכוז הרדיום במי ההשקיה, משום שחלק ניכר מהרדיום נספח, והריכוז בתמיסת הקרקע נמוך ממצב בו לא קיימות תופעות שטחי פנים. ללא ריאקציות חילוף וספיחה ריכוז הרדיום היה מגיע לשווי משקל עם עונת הגידול הראשונה, תוך תנודות יומיות קבועות (בין $2.4 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ובין $3.6 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$) הנובעות מטרנספירציה והשקיה. הגעה למצב יציב של ריכוז הרדיום במערכת מושקית באופן סדיר מחייבת שימור מאסה. השימור מתאפשר מעליה בריכוז הרדיום במי הנקז. מצב יציב של ריכוז הרדיום במוצא הניקוז מתרחש לאחר כ- 13 שנות גידול דו-עונתי. מכאן ניתן להסיק כי ריאקציות שטחי פנים בהם משתתף הרדיום מורידות את ריכוזו בבית השורשים לריכוז הדומה לריכוזו במי ההשקיה.



איור 6: ריכוז הרדיום (^{226}Ra) בתמיסת הקרקע בבית השורשים (ממוצע ליניארי, עקום שחור), ריכוז רדיום ממוצע בבית השורשים ללא תופעות שטחי פנים (עקום שחור עדין) וריכוז הרדיום במוצא הנקז (עקום אדום).

הפריסה החד- מימדית של ריכוז הרדיום בפרופיל הקרקע במשך 15 שנות גידול דו- עונתיות, מוצגת באיור 7. באופן דומה לריכוז הרדיום במי הנקז עם הזמן שתואר באיור ים 4 ו-5, נראה כי החל משנה זו פרופיל הרדיום נוטה לאחידות עם הזמן, עד ליצירת פרופיל הומוגני בשנה ה- 15. ריכוז הרדיום הממוצע בפרופיל בסוף הסימולציה הוא $1.65 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$.



איור 7: פירוס ריכוז הרדיום (^{226}Ra) בתמיסת הקרקע בפרופיל. כל עקום מסמל שנות גידול מצטברות.