

## מודל חד-ממדי לתיאור זרימת המים, תנועת המומסים ותכולת הרכיב המזהם בתת הקרקע של שמורת עברונה

שגב דגן

בהנחיית פרופ' אורי שביט

המטרה של פיתוח מודל מתמטי לתיאור תופעות המעבר בשמורת עברונה היא לימוד ובחינה של המנגנונים העיקריים ששולטים בזרימת המים, בתנועת המומסים ובתהליך העיכול של זיהומי הנפט שבשמורה. המודל ישמש לתכנון וניתוח של מדידות מעבדה, הרחבה של תוצאות המעבדה לתנאים שלא נבחנו וללימוד התהליכים שמתרחשים בשטח השמורה, לבחינה של תרחישים ושיטות טיפול שונות ובחינת ההשפעה של הפרמטרים התכנוניים על יעילות הטיפול.

המודל שפותח הוא חד-ממדי אנכי, תלוי זמן ומייצג חתך בקרקע המורכב משכוב דומה לזה שנמצא בשמורה. השינויים שהתרחשו בתכונות הקרקע (עקום התאחזיה ומשוואת מקדם המוליכות) בעקבות אירוע הזיהום מתוארים כאן על ידי המודל הקפילרי. לשם כך הנחנו שאירוע הזיהום לא שינה את התפלגות הגודל וסידור הנקבובים ושהשינוי היחיד שיש לקחת בחשבון הוא העלייה בזווית המגע.

עקום התאחזיה של הקרקעות הבלתי מזוהמות נמדד והותאם למודל ון-גנוחטן. היות ולא ניתן היה למדוד את עקום התאחזיה של הקרקעות המזוהמות (P1 ו-P2) הוחלט לתאר את העקום בעזרת התאמת המודל הקפילרי לזווית המגע של קרקעות אלה. על פי המודל קפילרי עלייה בזיהום אמורה לגרום לעליה בעומד המטריצי. בבדיקה שנעשתה על ידי קרן טוניס ומיכל קיסרא ועל ידי מעבדה בבראונשוויג, גרמניה, נמצא שעקום התאחזיה של קרקע P3 לא תאם את השינוי המצופה מהמודל הקפילרי. במידה ונמצא בעתיד שגם קרקעות P1 ו-P2 לא תואמות את המודל הקפילרי ושהשינוי הצפוי בזווית המגע לא מגדיל את העומד המטריצי, נאלץ להתאים את המודל מחדש.

משמעות נוספת של ההנחה שאירוע הזיהום לא שינה את התפלגות גודל הנקבובים היא שקיימות שתי פונקציות למקדם המוליכות ההידרולית, אחת עבור קרקעות שזווית המגע שלהן קטנה מ- $90^{\circ}$  ואחת שזווית המגע שלהן גדולה מ- $90^{\circ}$  (קרקעות הידרופוביות). הסיבה לכך היא שעל פי המודל הקפילרי סדר המילוי של הנקבובים בקרקעות הידרופוביות הפוך מזה של קרקעות נקיות. כאשר תכולת הרטיבות נמוכה הנקבובים הגדולים הם אלה שמתמלאים ראשונים בקרקעות הידרופוביות. תופעה זו יוצרת מצב מעניין שבו קשה להרטיב קרקעות הידרופוביות, אך ברגע שהעומד חיובי וגדול מ"ערך כניסת המים" קצב החדירה של מים לקרקע גדול יותר מזה שבקרקעות הנקיות.

פתרון נומרי של המודל התקבל בעזרת תוכנת Comsol. זרימת המים התקבלה מפתרון של משוואת ריצרדס תוך התעלמות מהאפשרות החשובה של זרימה בנתיבי זרימה מועדפים. במהלך יום העיון נציג פתרונות של הרטבה של קרקעות בזוויות מגע שונות.

תנועת הדשן מתוארת באמצעות משוואת הסעה-דיספרסיה תוך התחשבות בשטף ההסעה, שטף הדיספרסיה ואיבר בור המתאר ריאקציה מיקרוביאלית מסוג מונו. חישוב ריכוז הנפט בקרקע מתקבל מפתרון של משוואת מאזן מסה בהנחה שהגורם הישיר היחיד שמשפיע על המזהם הוא ריאקציה מיקרוביאלית מסדר מונו עבור הנוטריינטים ותלות מסדר ראשון בתכולת הרטיבות כך שעלייה בכמות המים גורמת לעלייה בקצב הריאקציה.