

12-13 באוקטובר 2020

\* תתקיים כוועידה דיגיטלית

## הוועידה השנתית ה-48 למדע ולסביבה

### שימוש במודלי איכות מים לשיקום ושמירה על נחלים

יואב בורנשטיין<sup>1</sup>, משהור חוש<sup>2</sup>, Scott Wellss<sup>2</sup>

1. אוניברסיטת חיפה

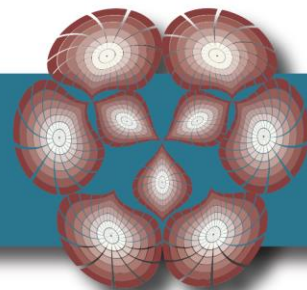
2. Portland State University

מייל לתכתובות: [yoavborenst@gmail.com](mailto:yoavborenst@gmail.com)

כדי להניע תכניות שיקום ושימור, גופים סביבתיים ברחבי העולם כוללים בתוכניות הפעולה שלהם את הצורך בשיתוף בעלי עניין בתהליך קבלת ההחלטות באמצעות DSS (כלים לתמיכה בקבלת החלטות). באמצעות DSS מבוסס מודל איכות מים, בעלי העניין יכלים להגדיר מטרות של איכות מים במקטעים שונים של הנחל ולראות כיצד הקצאות ופעולות שונות משיגות את המטרות הללו. עבור המחקר שביצענו, הנחנו שהסיבוכיות והעלות מרתיעים גופים שונים מאימוץ שיטת ניהול זו ועל כן חיפשנו דרכים לפשט ולהחיל את תהליך ההטמעה. מקטע מנחל הירקון שימש לבדיקת אפשרויות פישוט הליך הטמעת המודל. הנחל שימש לבדיקת יכולת ה DSS לענות על בעיות שעומדות לפתחה של רשות נחל הירקון. לשם כיוול המודל נאסף מידע בתימטרי, מטאורולוגי, ספיקות, טמפרטורת מים ופרמטרים שונים של איכות מים במקטע, זאת לאורך תקופת זמן של שלושה חודשים. בשלב הבא נעשה נסיון לכייל את מודל CE-QUAL-W2 על מקטע הנחל באמצעות הנתונים שנאספו. בנוסף הוגדר מודל CE-QUAL-W2 לא מכייל עבור כל הנחל. עבור ה DSS, פותחה תוכנה בקוד פתוח שמבוססת על טכנולוגיות שמאפשרות הרצת מספר רב של סימולציות מודל במקביל. כל זאת על בסיס תשתיות מחשוב ענן. לאחר סיום הפיתוח, הודגם כיצד ניתן להשתמש במערכת על מנת לקבל תמיכה בקבלת החלטות בפרויקטים שנמצאים כיום בהליך תכנון בנחל. עוד פותח במסגרת מחקר זה, תוסף לתוכנת QGIS שמאפשר יצירה אוטומטית של קובץ הבתימטריה עבור מודל CE-QUAL-W2. המחקר הראה כיצד ניתן להוריד עלויות ההטמעה והפיכתה לתהליך פשוט יותר על ידי שימוש בתשתיות קוד פתוח ושימוש במשאבי ענן. בהינתן המצב הנוכחי של רוב נחלי ישראל, הן גופים המכינים תוכניות במסגרת "זכות הטבע למים" והן הועדה להנפקת צווי הרשאה להזרמה לנחלים יוכלו להרוויח משימוש ב DSS מבוסס מודל איכות מים. הרווח הוא בצד המעשי של בדיקת ההשפעות בנחל ובצד של קבלת החלטות ע"י שיתוף בעלי עניין בתהליך. ה- DSS שפותח אינו מיועד לנחל הירקון בלבד ויכול לשמש כל משתמש במודל CE-QUAL-W2 ברחבי העולם.

#### תרומת המחקר:

כיום, מספר מועט של ארגונים משתמשים ב DSS לניהול ושיקום נחלים. חלק מהסיבות הם העלויות וסיבוכיות ההטמעה. המחקר תורם לארגונים סביבתיים בעזרת הצגת אפשרות להקמת DSS בעלויות נמוכות ופישוט תהליך ההטמעה. הפתרון שפותח זמין כקוד פתוח לכל משתמש. בהקשר של מדינת ישראל, כיום אין שימוש במודלי איכות מים בנחלים. הצגת יתרונות השימוש בשיטה זו כפי שהודגם בנחל הירקון, יכול להגביר את המודעות של ארגוני סביבה לכלי ניהול מסוג זה.



## טיפול במים מבוסס-ננו – התנאים הדרושים למימוש בסקאלה תעשייתית

אינס צוקר

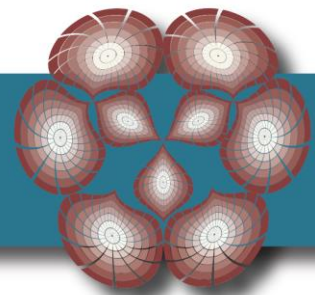
אוניברסיטת תל אביב

מייל לתכתובות: [ineszucker@tauex.tau.ac.il](mailto:ineszucker@tauex.tau.ac.il)

בשנים האחרונות, גישות מבוססות ננוטכנולוגיה נבחנות כחלופה פוטנציאלית לטכנולוגיות טיפול במים מסורתיות. מבחני מעבדה מוכיחים את היעילות והסלקטיביות המוגברת של ננו-חומרים מסוגים שונים בהסרת מזהמים ממים ומציגה אותם כמבטיחים וכמתאימים לשילוב במערכות טיפול קיימות. יחד עם זאת, ולאחר כ-15 שנות מחקר מוצלחות, ננוחומרים טרם שולבו במערכות טיפול במים. בהרצאה נדון בסיבות המהותיות לעיכוב היציאה של ננוחומרים לטיפול במים מהמעבדה למערכות טיפול בסקאלה מלאה. הסיבות העיקריות לפיגור בהטמעת ננוחומרים ביישומים סביבתיים הן הפוטנציאל שלהם להשתחרר לסביבה ורעילות הקשורה בכך, כמו גם חסמי יישום ותחזוקה במפעלים לטיפול במים. בהקשר של התאמת הטיפול במים מבוססי ננו ליישומים בחיים האמיתיים, הוצעו פלטפורמות התומכות בננו-חומרים כדי למזער את המגבלות שלהם. הפלטפורמות משמשות לעיגון ננו-חומרים על פני השטח שלהם, מה שמסייע בהפחתת שחרור ננו-חומר לסביבה, במניעת צברים של ננו-חומר, ומאפשר הסרה, התחדשות ושימוש חוזר של כל המרכיבים הפעילים. בהרצאה זו נסקור את הספרות הזמינה בנושא טיהור מבוסס ננו בפלטפורמות אקטיביות ופאסיביות, נצביע על מגמות ונספק ניתוח טכני-כלכלי עבור הפלטפורמות המובילות, מבחינת ביצועים, בשלות טכנולוגית, עלות, וקיימות. בנוסף, נדון בצורך בזיהוי מהיר של זליגת החומר הפעיל למים המטופלים, וביצירת מערכות מולטיפונקציונליות להסרה יעילה של זיהומים במנגנונים שונים שתעלה את העניין והכדאיות של התהליך כולו. הרעיונות יחזקו בהוכחות ממקרי מבחן הנחקרים במעבדתנו כיום.

### תרומת המחקר:

המחקר שלנו הינו מעשי ותיאורטי. מצד אחד - אנו בוחנים מצעים ראויים לשימוש לננוחומרים לטיפול במים, ומצד שני - אנחנו מפתחים ריאקטורים המשלבים ננוחומרים עם טכנולוגיות קיימות כדי להעלת את הכדאיות הכלכלית והטכנית שלהם. תרומת המחקר היא להתקדמות התחום המתפתח אל עבר מימוש בסקאלות גדולות מסקאלת מעבדה, וכמובן שניתן ליישמו במדיניות הסביבתית של ישראל. המחקר כולו ממומן על ידי משרד המדע והטכנולוגיה (במסגרת ניצוץ קלינטק, 2019).



13-12 באוקטובר 2020

\*תקיים כוועידה דיגיטלית

## הוועידה השנתית ה-48 למדע ולסביבה

### שימוש במאקרו-אצות להרחקת עודפי נוטריינטים ממי רכז ומי קולחין - ניתוח כלכלי ודגשים למחקר ופיתוח עתידיים

מירון צולמן<sup>1</sup>, אלכסנדר ליברזון<sup>1</sup>, אלכסנדר גולברג<sup>1</sup>, דוד זילברמן<sup>2</sup>

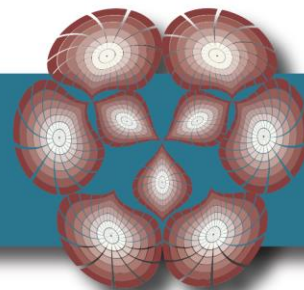
1. אוניברסיטת תל אביב
2. אוניברסיטת קליפורניה, ברקלי

מייל לתכתובות: [meironzollmann@gmail.com](mailto:meironzollmann@gmail.com)

זיהום מים בעודפי נוטריינטים הינה בעיה סביבתית ובריאותית הולכת וגוברת. ממקור זיהום משמעותי הינו מי קולחין עשירים בנוטריינטים שמשוחררים לסביבה. שדרוג מתקני הטיפול בשפכים לטובת הרחקת נוטריינטים תעלה כ-120 אלף טון חנקן בשנה, ששווים (כאמוניה) כ-36 מיליון דולר. לעומת זאת, גידול מאקרו-אצות על בסיס מים אלו יקלוט עד כ-3 גרם חנקן למ"ק ליום ויספק חומר גלם בעל ערך לתעשייה בעבודה זו התבצע ניתוח כלכלי של טכנולוגיה לשילוב גידול מסחרי של מאקרו-אצות בתהליך טיפול ברכז או בשפכים, כתחליף להרחקת נוטריינטים בטכנולוגיות מסורתיות. מטרת העבודה הן השוואת הטכנולוגיה לטכנולוגיות קיימות והצבעה על כיצד ניתן לשפר את הטכנולוגיה ובאילו תנאים ניתן ליישם אותה. בבסיס הניתוח הכלכלי עומד מודל שמתאר את עלות הטכנולוגיה בתלות בפרמטרים של עלות כוח אדם וקרע, מס זיהום ומחירי האצות. בנוסף, במודל שולבה השפעה של "למידה תוך כדי עשייה", שמתארת ירידה בעלויות תפעול ועלייה ברווחים שמתרחשים בטכנולוגיות חדשות לאורך הזמן, כתוצאה מתהליכי למידה והתייעלות. ההשוואה התבצעה מול נתונים מתוכניות קיימות לשדרוג מתקני טיפול בשפכים. הניתוח הכלכלי מראה כי כדאיות הטכנולוגיה תלויה ב"למידה תוך כדי עשייה" ובעליית ערך האצות. בנוסף, אנו מראים כי עלות הטכנולוגיה רגישה מאוד לעלויות קרקע וכוח אדם ולקצב הלמידה וההתייעלות, ורגישה פחות לשיעור מס זיהום, אם יוטל. בנוסף, העבודה מעלה כי נקודת התורפה המרכזית של הטכנולוגיה היא דרישת שטח גבוהה, שתצמצם משמעותית אם תיושם על רכז התפלה (מהתפלת מי תהום מזהמים בחנקות או מי קולחין שמושבים לשתייה). במצב הנוכחי, לפני תהליכי למידה ואופטימיזציה, מימוש הטכנולוגיה להרחקת נוטריינטים ממי קולחין רלוונטי רק בתנאים של עבודה וקרע זולים. לסיכום, הניתוח הכלכלי מראה כי עם ביסוס הטכנולוגיה, שימוש במאקרו-אצות להרחקת חנקן זרחן יאפשר הפקת רווח מתהליך שעלותו הנוכחית היא למעלה מ-5 דולר לק"ג חנקן. בנוסף, העבודה מצביעה על פיתוח מוצרים יקרי ערך, יעילות השימוש בכוח האדם ויעילות השימוש בקרקע כנקודות מרכזיות להמשך מחקר ופיתוח.

#### תרומת המחקר:

במדינת ישראל המחקר מספק כיוון בר קיימא וכלכלי לטיפול במי רכז מהתפלת מי תהום מזהמים בחנקות. זיהום מי תהום בחנקות הינה נפוצה במישור החוף הישראלי, ובמסגרת פרויקט "הנקז המזרחי", מים אלו נשאבים ומותפלים לטובת טיוב הבארות. כיום, רכז התפלה מסולק לים, אך הדרישות הסביבתיות מחייבות את הרחקת הנוטריינטים מהרכז לפני הסילוק לים. לבסוף, המחקר מספק תובנות מעשיות לגבי התכונות השימוש במאקרו-אצות להרחקת נוטריינטים מהמים ומדגיש כיוונים להמשך מחקר ופיתוח.



## הדמיה נומרית של פיזור מי רכז מזרמים לים התיכון על ידי מתקני התפלה ישראליים

מיכאל סלדקביץ', אנה לוי

הטכניון- מכון טכנולוגי לישראל

מייל לתכתובות: [michslad@technion.ac.il](mailto:michslad@technion.ac.il)

בתחילת 2002, בשל השפעת בצורת, אישרה הממשלה הקמת מתקני התפלה של מי ים לאורך חופי הים התיכון. בסוף 2019 פעלו בישראל חמישה מתקני התפלה בהספק כולל של כ-600 מיליון מ"ק לשנה. בתהליך ההתפלה המתקנים משחררים מי רכז לאזור חופי רדוד עם רמת מליחות כפולה מרמת מליחות מי הים. על מנת לצמצם את ההשפעה השלילית האפשרית של מי הרכז על הסביבה הימית, יש לקבוע את מיקום המוצא של המתקן ואת שיטת שחרור מי הרכז לים.

מאז שנת 2002, במכון בוצעו הערכות פיזור מי הרכז מזרמים ממתקני התפלה לים באמצעות מודלים נומריים בשלב תסקיר ההשפעה על הסביבה, בשלבי קבלת היתרי הבנייה, וגם לאחר הבנייה לצורך השוואת תוצאות המידול למדידות בים.

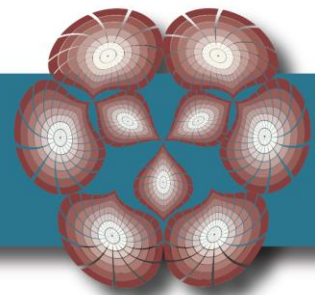
ממתקני ההתפלה מזרמים מי הרכז ישירות מהחוף או דרך צינור מוצא המותקן מספר קילומטרים מהחוף. מתקני ההתפלה באשקלון, בחדרה ובתכנון מוקדם באשדוד (2002) תוכננו להזרמת מי הרכז יחד עם מים חמים ממערכת קירור של תחנות כוח או בקרבת המוצא שלהם. כתוצאה מכך מי הרכז משוחררים לים כבר לאחר הערבוב הראשוני ופיזורם בים ניתן לתיאור באמצעות מודלים נומריים תלת ממדיים המתאימים להדמיות באזור חופי.

כאשר מי הרכז מזרמים לים דרך צינור מוצא המידול כולל שני שלבים המונעים על ידי תהליכים פיזיים שונים: (1) תיאור מהול הראשוני במשך התקדמות ונפילת הסילון (שדה קרוב) במודל Visual Plumes; ו-(2) תיאור ערבוב במשך הסעת הפלומה (שדה רחוק) במודל חופי תלת ממדי CAMER3D/HD. היבט מאוד חשוב בשיטה המתוארת הוא חיבור שני המודלים של השדה הקרוב עם השדה הרחוק. לפי כך רזולוציה מרחבית של מודל של שדה רחוק אמורה להבטיח העברה הולמת של הספיקה והתנע ממודל השדה הקרוב.

באמצעות ההדמיות ניתן לבנות מפות מליחות יתר, למשל ברמות מליחות של 10%, 5%, 1% מעל מליחות הרקע ואז לקבוע את ההשפעה הפוטנציאלית של המתקנים על אזורים שונים. בדיקת איכות תוצאות ההדמיות הנומריות מראה התאמה טובה עם מדידות חיא"ל באזור סמוך למתקן התפלה פלמחים (2011).

### תרומת המחקר:

שיטת שילוב מודלים של השדה הקרוב והשדה הרחוק מאפשרת לבצע הערכה הולמת של פיזור מי הרכז בים. המכון יישם בהצלחה את המודלים בשלבים שונים של תכנון מתקני התפלה באשקלון, באשדוד, בפלמחים, בשורק, בגליל מערבי. ההדמיות הנומריות מאפשרות: להעריך את השפעת מתקני ההתפלה על הסביבה הימית לקבוע פרמטרים שונים ותצורה של הדיפוזר בעזרת מידול של השדה הקרוב לבחור את מיקום מוצא המתקנים עם השפעה פוטנציאלית מינימאלית באמצעות מודלים של השדה הרחוק.



13-12 באוקטובר 2020

\* תתקיים כוועידה דיגיטלית

## הוועידה השנתית ה-48 למדע ולסביבה

### מאפייני הפיזור של אסטואר אלכסנדר לסביבה החופית

שירה בונה, יאיר סוארי, תום טופז, טל שדה, הדר צדקה, גיתי יהל

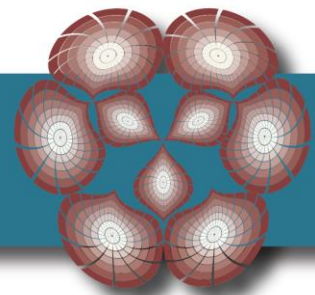
המרכז האקדמי רופין

מייל לתכתובות: [boneh.shira@gmail.com](mailto:boneh.shira@gmail.com)

נחלי החוף בישראל מהווים מקור נוטריינטים, סדימנט ומזהמים לסביבה החופית. המידע על אופן הפיזור ואזורי ההשפעה של נחלים אלו חלקי. מחקר זה מתמקד בפיזור המים והחומר החלקיקי מהאסטואר של נחל אלכסנדר לים בשיטפונות ובזרימות בסיס. הדיגום בשיטפונות התבצע על ידי הורדה אנכית של מכשיר CTD מצויד ברגש לעכירות אשר כויל למדידת ריכוזי חומר מרחף. מכשיר ה-CTD הורד אחת ל-300 מטר לאורך חתכים קבועים, בשטח דיגום של 11 קמ"ר עד לטווח של 2 קילומטרים מקו החוף. בנוסף, התבצעה גרירה רצופה של המכשיר במקביל לקו החוף בסמוך לשפך הנחל בשיטפונות ובזרימות בסיס. במהלך שיטפונות נאספו דוגמאות מים מהנחל ונמדדה כמות החומר החלקיקי שנפלט לים. התפשטות מי השיטפון זוהתה על פי יחס נפח המים המתוקים בים לנפח השיטפון באסטואר. קצב שקיעת החומר החלקיקי חושב מיחס כמות החומר המרחף לכמות החומר שנפלטה במהלך השיטפון. במהלך השיטפונות מי הנחל המתוקים צפו בעומקים הרדודים מחמישה מטרים בעיקר לכיוון צפון ולמרחק של כקילומטר מהחוף. מדרום לשפך מליחות מי פני השטח השתוותה למליחות הרקע כבר במרחק של כקילומטר אחד. חישוב של נפח המים המתוקים בים, יומיים מסיום השיטפון, מצא כ-10% ממי הנחל ופחות מ-1% מהחומר המרחף נמצאים באזור הדיגום. נמצאה עלייה בעכירות המים וירידה בטמפרטורה ובמליחות בסמוך לקרקעית, תופעה זו עשויה להעיד על זרמי עכירות המייצאים מים מתוקים ונוטריינטים אל מתחת לאזור הפוטי. בזרימות בסיס, ערכי מקסימום של כלורופיל ומים מתוקים איפשר זיהוי של אזורי השפעה "כרוניים". תוצאות המחקר מראות שמי הנחל מתפשטים בעיקר צמוד לחוף ומרבית החומר המרחף שוקע בסמוך לאזור השפך. בזרימות בסיס מזהים פריצות מים באזורים קבועים לכיוון הים. זוהו שני אזורי פריצות עיקריים, סמוך למכשולים פיזיים מצפון, וסמוך לחוף הרחצה של בית ינאי מדרום. התוצאות מראות השפעה הכרונית של מי הנחל בצמוד לקו החוף לאורך כל השנה. איכות המים הנמוכה וריכוזי המזהמים האורגניים באסטואר, עלולים להביא לפגיעה באיכות המים בקו החוף בכלל ובריאות המתרחצים בפרט.

#### תרומת המחקר:

- אנחנו רואים מספר נקודות עקרוניות בממצאים.
- השפעה כרונית של מי הנחל בצמוד לקו החוף לאורך כל השנה. איכות המים הנמוכה וריכוזי מזהמים אורגנים גבוהים באסטואר, עלולים להביא לפגיעה בריאותית במתרחצים.
- אפשרות של שקיעת מים מתוקים ונוטריינטים אל מתחת לאזור הפוטי עשויה להיות משמעותית למחזוריים הביוגאוכימיים.
- טווח השקיעה המצומצם של החומר המרחף בקו החוף עשוי להשפיע על יצורים ישיבים בסמוך לשפך



12-13 באוקטובר 2020

\* תתקיים כוועידה דיגיטלית

## הוועידה השנתית ה-48 למדע ולסביבה

### פיחום הידרותרמי של שפכים שחורים גולמיים – השפעת עצימות התהליך על תכונות ההידרוצ'אר ושריפתו

רעות יהב שפיצר, עמית גרוס

אוניברסיטת בן גוריון בנגב

מייל לתכתובות: [reutyaha@post.bgu.ac.il](mailto:reutyaha@post.bgu.ac.il)

הפרשות אדם בעיה סניטרית בחלקים רבים בעולם ועלות הטיפול גבוהה. פיחום הידרותרמי (HTC) הינה טכנולוגיה ירוקה חדשה יחסית לטיפול בפסולת אורגנית רטובה אשר במהלכה הפסולת מחוממת בריאקטור אטום לטמפ' של 180-250 מ"צ במשך דקות עד שעות תחת לחץ אוטוגני. בסוף תהליך העיכול מתקבלת פאזה נחלית עשירה בנוטריאנטים וכן פאזה מוצקה המכונה הידרוצ'אר, דומה בתכונותיה לפחם תת ביטומיני שעשוי לשמש כמקור אנרגיה. שיטה זו עשויה לפתור את הבעיה הסביבתית/כלכלית הכרוכה בטיפול המסורתי והן את הבעיה הסניטרית. במחקר זה אנו עוקבים אחר תכונות ההידרוצ'אר שמקורו בהפרשות אנושיות כתלות בעצימות (severity) העיכול וגם אחר פרופיל השריפה של ההידרוצ'אר והפליטות הנלוות לכך.

צואה נאספה מ-22 אנשים, עוקרה, נשקלה, ויובשה (105°C). העיכול התבצע בטריפליקטים בריאקטורים ייעודיים (50 מ"ל) ביחס נחל:מוצק של 1:4 (היחס הממוצע של ה"חומר" המקורי), וב-5 עצימויות שמקורן בטמפרטורת ומשך העיכול. טווח הטמפ' נע בין 180°C ל 270°C ומשך בעיכול בין דקות ל-45 שעות. תכונות ההידרוצ'אר (תנובה, אפר, מוצקים נדיפים, פחמן, חנקן מימן וגופרית) נבחנו וכן תכונות בעירתו והגזים הנפלטים ממנו בעזרת FTIR-TGA.

הערך הקלורי של ההידרוצ'אר עלה עם עלייה בעצימות העיכול מ (23.5-26.5 MJ/Kg) ודמה לפחם תת ביטומיני, ובעצמיות הגבוהות לפחם ביטומיני (26.8-29.3 MJ/Kg). עוד נמצא כי העלות האנרגטית לחימום הבוצה קטנה פי 3 יותר מהאנרגיה האצורה בהידרוצ'אר. נמצא כי פרופיל השריפה שנוצר היה דומה בעצימויות השונות. הגזים העיקריים שנפלטו בעת תהליך שריפת ההידרוצ'אר נפלט בעיקר פחמן דו-חמצני ומעט מתאן.

פיחום הידרותרמי של צואת אדם היא חלופת טיפול בטוחה והצ'אר המתקבל עשוי לשמש כמקור אנרגיה מתחדשת וירוקה.

#### תרומת המחקר:

בוצות שפכים ושחורים עתירים בחומר אורגני. טיפול בר קיימא בהם הינו אתגר משמעותי בארץ ובעולם (הן ברמה הסביבתית והכלכלית) עם פתרונות חלקיים בלבד. בנוסף, במקומות מתפתחים כולל במדינות שכנות, כפרים בדואים ובשטחי הרשות טיפול חלקי אם בכלל יוצר תחלואה מוגברת חיהום סביבתי. שימוש בפיחום הידרותרמי יכול להוות פתרון מקיים ביישובים מבודדים שאינם מחוברים לתשתיות