

המוסד החינוכי "מבואות עירון"

סמל מוסד: 360040

טלפון: 04-6377720 ד"נ חפר 37845

## באיזה אופן משפיעות שיטות טיפול מקדימות בשפכי הרימונים על פגיעתם בבוצה האנארובית?

עבודת הגמר מוגשת בתחום: חקלאות

הנושא: טיהור שפכים



שם התלמיד/ה: נועה קובר

תעודת זהות: 209313253

כתובת: עמיקם, רח' נורית 118

מס' טלפון: 0526324433

דוא"ל: noa.g3m@gmail.com

שם המנחה: דר' עודד לירן

תעודת זהות: 034811463

מספר טלפון: 052-5544252

ליווי בית הספר: עירית דרומי

תאריך הגשה: ינואר 2017, שנה"ל תשע"ז

העבודה בוצעה בחווה החקלאית "החממה" בעין שמר-מנשה



חווה חקלאית  
עין שמר



מועצה אזורית מנשה  
הקהילה בארבע



## תוכן עניינים:

4.....	מבוא וסקירת ספרות.....
8.....	מהלך המחקר.....
15.....	תוצאות המחקר.....
22.....	דיון.....
25.....	סיכום.....
26.....	ביבליוגרפיה.....

## מבוא וסקר ספרות

### שפכים תעשייתיים

שפכים תעשייתיים הם פסולת שמקורה במפעלים ובחקלאות התעשייתיים (1). תהליכים תעשייתיים רבים מלווים בייצור שפכים. השפכים מכילים בדרך כלל ריכוז מזהמים גבוה ואם אינם מטופלים כראוי, עלולים לגרום לנזק סביבתי ולזיהום קרקעות, מי התהום וגופי מים. ניתן לסווג את הפסולת התעשייתית בחלקה הנוזלי לחומרים אי-אורגניים (כמו אמוניה וציאניד), שמקורם בתעשיית הברזל והפלדה, ולחומרים אורגניים, שהם תוצרי פירוק והרכבה של חומרים מתעשיית הפלסטיקה והפטרוכימיה. בתוך קבוצת החומרים האורגניים קיימת תת-קבוצה, קבוצת הביוטה, קבוצה מכילה פסולת המורכבת מחיידקים ואורגניזמים שונים שנוצרים בתעשיית המזון והחקלאות (2).

### טיהור שפכים

השפכים התעשייתיים מוזרמים מהמפעל ומפונים לאתרי סילוק פסולת. ברוב המקרים אתרים אלו הם אינם תחנתם הסופית של המזהמים משום שחלקם הנוזלי עלול לחלחל לקרקע ולמי תהום נקיים המשמשים את האדם (1,2). בגלל הסכנות שהפסולת עלולה לגרום, הממשלה ורשויות שמירת הטבע דורשות מן המפעלים אשר מייצרים כמות גדולה של מזהמים, להפעיל מכוני טיהור שפכים פנימיים, להפחית את ריכוז המזהמים ובכך להפחית מפגעים אקולוגיים ותברואתיים אפשריים. מי הקולחין הנוצרים בתהליך הטיהור מנוצלים שוב לשימוש אותו המפעל או מופנים כמי קולחין לשימוש תעשיית אחרות, לרוב לחקלאות, כך שנחסכים מי תהום נקיים ויקרים.

### ישנם שלושה חלקים עיקריים לטיהור השפכים התעשייתיים (2):

- א. טיפול ראשוני- טיפול המפריד בין הנוזלים והמוצקים במי השפכים. זהו טיפול מכני הכולל סינון גס של השפכים, שיקוע חלקיקים כבדים והרחקת חלק מהמוצקים המרחפים והחומר האורגני. טיפול זה נעשה במערכות סינון ושיקוע.
- ב. טיפול שניוני (3)- תהליך ביולוגי של פירוק החומר האורגני בשפכים, הרחקת המוצקים המרחפים וסילוק מעבירי מחלות ממי הקולחין. תהליך זה מתבצע באמצעות בוצה של חיידקים- מקבץ חיידקים שמגודל באופן מלאכותי לצרכים אילו. הבוצה מפרקת את החומרים האורגניים במי השפכים כך שמתקבלים מי קולחין בעלי ריכוז חומר אורגני נמוך וריכוזי מוצקים מרחפים נמוכים. ישנן שתי דרכים להשתמש בבוצה, אחת בצורה ארובית ע"י החדרת חמצן רב לשפכים ופירוק ארובי של החומר האורגני (בוצה משופעלת) (4) והשנייה בצורה אנארובית ע"י פירוק אנארובי של החומר האורגני המלווה ביצירת מתאן (שבתורו לשמש להפקת אנרגיה) (5).
- ג. טיפול שלישוני- טיפול ביולוגי נוסף שמסלק חומר מסויים כגון חנקן או זרחן ומטרתו להעלות את איכות המים לרמה בה ניתן להשתמש בהם לחקלאות ולא רק לשימוש חוזר במפעל.

הריכוז הגבוה של המזהמים בפסולת יכול לפגוע גם במערכת טיהור השפכים עצמה ובכך להוות עול תפעולי נוסף על המפעל. בדרך כלל ישנם שני סוגי בעיות:  
א. פגיעה פיזית במערכת הובלת השפכים- חומרים חומציים אשר מכרסמים בצינור ההובלה או חומרים שומניים שאינם מתמוססים טוב במים ויכולים לגרום לסתימה ופיצוץ בצנרת.  
ב. פגיעה במערכת הטיהור הביולוגית- חומרים אורגניים ומתכות כבדות שפוגעים בתהליך

הטיפול עצמו כך שמי השפכים המוזרמים מן המפעל אל החוץ מכילים עדיין את התרכובות המסוכנות.

התהליך שבו הבוצה נפגעת מחומרי הפסולת עצמם נקרא שוק אורגני (6). במצב כזה הבוצה עוברת עיכוב או נהרסת לחלוטין ואיכות מי השפכים נותרת כפי שהייתה לפני הזרמתם של מי השפכים דרך הבוצה.

### ספיחת רעלנים במי שפכים

על מנת למנוע מצב של שוק אורגני מקובל לבצע על השפכים טיפול מקדים לפני חשיפתם לבוצה האנארובית, שמטרתו ספיחת הרעלנים המומסים על ידי אדסורבנט, כדוגמת פחם פעיל (7). האדסורבנטים הם גופים מוצקים בלתי-מסיסים שהודות לנקבוביות הגבוהה שלהם הם בעלי שטח פנים מפותח וגדול במיוחד, ולכן מסוגלים לספוח אליהם את הרעלנים.

בדרך כלל הרעלנים מצטברים בנקבוביות האדסורבנט באינטראקציה פיזית, אך ישנם מקרים בהם בנוסף לאינטראקציה הפיזית מתבצעת גם אינטראקציה כימית בה הרעלן נקשר לאדסורבנט ולמעשה יוצר מולקולה חדשה. האדסורבנט הנפוץ ביותר הוא פחם פעיל, גוף פחמן נקבובי ששטח פניו רחב במיוחד. הפחם הפעיל מיוצר מקליפות קוקוס ומשלב חוזק גבוה, גודל חלקיקים יציב וקיבולת גבוהה.

### מפעל גן שמואל מזון

פרימור, מותג המשקאות של חברת גן שמואל מזון נמצא בבעלות משותפת של מספר קיבוצים והוא המוביל בישראל בייצור ושיווק מיצים סחוטים ומקוררים (8). מפעל גנר (גן שמואל מזון) נחנך לראשונה בשנת 1979 בבעלות משותפת של הקיבוצים גת ובית ניר, ליד קרית גת ובשנת 2007 התאחד עם גן שמואל מזון בע"מ והפך למפעל לסחיטת הפרי הגדול בישראל. רוב התוצרת הם חומרי גלם לתעשיית המשקאות בעולם והשאר הינם מוצרים לשוק הישראלי. לקראת ראש השנה של שנת 2012 יצאה פרימור במותג חדש- מיץ רימונים טבעי, ללא חומרים משמרים ותוספת סוכר וכמו-כן ללא צבעי מאכל. המיץ החדש מצטרף לסדרת המיצים האורגניים בהם מיץ תפוזים, תפוחים ועגבניות הנמכרים בחנויות הטבע המובחרות ברחבי הארץ. לדברי "גנר", שיווק מיצים טבעיים לשוק המקומי הינם חלק ממגמה עולמית, המכירה בחשיבות צריכה יומית של פירות וירקות, נקיים מהשפעות מזיקות ותוספות כימיקליות.

במחלקת טיהור השפכים של המפעל, נעשה שימוש בשיטה הביולוגית לטיהור מי שפכים בעזרת בוצה אנארובית. המפעל גילה שכאשר חושפים את הבוצה למי שפכים שהגיע מקו מיצי הרימונים האורגני בכדי שתפרק את החומרים האורגניים בהם, הבוצה נפגעת ואינה מצליחה לבצע את הפירוק, וכתוצאה מכך מי השפכים אינם מטוהרים כראוי, ואיכות המים המטוהרים יורדת.

ככל הנראה, הסיבה לכך היא שוק אורגני המועמס על הבוצה, פוגע בה ומעכב את פעילותה. מכך ניתן להסיק שפרי הרימון מכיל רעלן מסויים שפוגע בבוצה.

## רימון מצוי

הרימון המצוי מסדרת ההדסאיים הוא עץ תרבותי נשיר הנפוץ בארצות אגן הים התיכון ומוצאו מאיזור הים הכספי (9). הרימון נסחר באופן נרחב מאז העת העתיקה בזכות חיי המדף הארוכים שלו, טעמו וסגולות רפואיות המיוחסות לו עוד מימי קדם. ניתן להשתמש בקליפת הרימון לעצירת דימום מפצעים, ובמיץ לעצירת שלשול ולהקלה על בחילות. הרימון הוא עץ נמוך המגיע לגובה של עד 3 מטרים, בעל עלים מסורגים ומאורכים המתחילים כאדומים ומשנים את צבעם לירוק. פרחיו אדומים וענפיו מחודדים ודוקרניים. הרימון משיר את עליו בעונת החורף וחוזר ומלבלב בתחילת האביב כאשר עיקר פריחתו היא בתחילת הקיץ. פירותיו מתפתחים מהפרחים במהלך הקיץ ומבשילים בסתיו. כל פרי מכיל מאות זרעים בעלי ציפה עסיסית, אדומה או ורודה.

פרסומים מדעיים מראים שניתן להפיק חומרים בעלי תכונות אנטי בקטריאליות מפרי הרימון (10,11). מחקרים בנושא מראים כי הרימונים והתמציות שלהם יכולים לשמש חלופות טבעיות נגד מגוון רחב של חיידקים פתוגנים בגלל עוצמתם וכמעט בכל חלק של צמח הרימון קיימת פעילות אנטי-מיקרוביאלית. כלומר, הרימון מכיל חומרים אשר מסוגלים לפגוע בסוגים שונים של חיידקים.

## פוליפנולים וחומצה אלגית

הרימון וקליפתו מכילים סדרת חומרים הקרויים טאנינים או פולי-פנולים. הפוליפנולים מצויים בדרך כלל בריכוזים גבוהים ברקמת העלים של הצמחים. הפוליפנולים הם חומר כימי יציב מאד בעל קבוצות הידרוקסיל שניוניות אשר יכולות לחבור לחומרים שונים בתא החי ולפרק אותם ובייחוד חומצה אלגית אשר שייכת למשפחת הפוליפנולים ומיוצרת בקליפתו של הרימון (12,10).

הפוליפנולים בטבע הינם בעלי תפקיד חשוב באקולוגיה של צמחים, קשורים לשליטה על הורמונים, מהווים חסם ל-UV (קרינה מזיקה), דוחים מזיקים ומונעים מחלות חיידקיות (12). לפוליפנולים תכונות אנטי בקטריאליות (10,11) שיכולות לפגוע בבוצה האנארובית, שהיא בסופו של דבר מקבץ של חיידקים. תכונות אלו ידועות ברפואה מסורתית כבר שנים רבות ולכן הפוליפנולים נוכחים בתרופות מסורתיות רבות, בין היתר כשמקורם הוא בפרי הרימון (12).

## תיאור בעיית המחקר והפתרון

החשד העיקרי לגורם לשוק האורגני, שנגרם לבוצה האנארובית ממי השפכים של מיצי הרימונים במפעל פרימור גן שמואל, היא החומצה האלגית ופוליפנולים אחרים המצויים בריכוז גבוה בקליפת הרימון וידועים כרעלנים טבעיים הפוגעים בפעילות הבוצה. מחשד זה עולה כי הדרך למנוע את פגיעה הבוצה מהרעלנים היא להפריד אותם ממי השפכים בעזרת טיפול מקדים לטיהור הביולוגי. טיפול זה יעשה על ידי האדסורבנט, במקרה הזה הפחם הפעיל.

מטרתנו במחקר זה, הייתה למצוא פתרון חלופי ואקולוגי לטיפול המקדים, פתרון המתבסס על שימוש בפסולת מענף תעשייה אחד כמסנן חומרים רעילים בענף תעשייתי אחר (13). ייצור הפחם הפעיל והשינוע שלו יוצרים זיהום וצבירת פסולת שניתן לבטלה על ידי שימוש בתחליף אקולוגי לפחם הפעיל. לאחרונה התפרסמו מספר מאמרים שעוסקים בנושא והראו בין היתר שעלי עץ הדולב, כאשר הם בשלב השלכת, מסוגלים לסנן פוליפנולים. עלים אלו

מרחיבים את שטח הפנים שלהם ויוצרים שקערוריות רבות המבצעות תהליך סינון הדומה לפחם הפעיל (14). על בסיס מחקרים אלו החלטנו לנסות להחליף את הסינון של הפחם הפעיל בסינון בעזרת עלי דולב ולבדוק האם ההשפעה שלהם על הבוצה דומה.

### סקירת ספרות

שאלת המחקר מקורית, משום שלא נעשה או פורסם מחקר דומה שעוסק בבעיה זו או במציאת פתרון דומה לבעיה. מקור הרעיון העיקרי ממנו עלו שאלת המחקר וההשערה הוא מאמר קוריאני העוסק בתאורייה של החלפת הפחם הפעיל בעלי דולב בהתבסס על המבנה האטומי הדומה שלו ועל יכולתו לבצע פעולות סינון דומות.

מקור נוסף שגרם לנו לפנות לכיוון זה הוא מאמרים רבים שהתפרסמו לאחרונה ועוסקים ברעיון השימוש בפסולת מענף תעשייה אחד כמסנן חומרים רעילים בענף תעשייתי אחר (13,14), במטרה להפחית פסולת וליצור מערכת בר-קיימא שאינה פוגעת במאזן האקולוגי. מאמרים אלו הביאו אותנו לכונן את שאלת המחקר שלנו למציאת פתרון אקולוגי לבעיה.

### השערת המחקר

השערת המחקר שלנו הייתה שנוכל לראות שינוי מסוים בתפקוד הבוצה האנאירובית לאחר חשיפתה לשפכי הרימונים שעברו טיפול מקדים בעזרת עלי הדולב, לעומת הפגיעה שהיא עוברת לאחר החשיפה לשפכים שלא עברו טיפול מקדים. ההשערה התבססה על הדמיון האטומי של עלי הדולב והפחם הפעיל ועל המאמרים שקראנו. אין אנו יכולים לדעת האם השינוי שיחוללו עלי הדולב יהיה מספיק משמעותי בכדי להפוך אותם לפתרון קבוע בתעשייה, משום שאיננו יודעים האם השפעתו תהיה חזקה כמו השפעתו של הפחם הפעיל מחד ובמידה והיה אפקט התאוששות לבוצה האם הוא נגרם כתוצאה מהימצאות חומר כימי בעלי הדולב שהשפיע בצורה כזו או אחרת על הבוצה עצמה מאידך.

## מהלך המחקר:

### הבוצה האנארובית- החומר החי איתו נעשתה העבודה:

הבוצה האנארובית הינה מקבץ חיידקים המגודלים באופן מלאכותי, ושמטרתה לשמש כמטהר שפכים ביולוגי, בעיקר בענפי התעשייה החקלאית (עליהם פורט במבוא). הבוצה בה השתמשנו בעבודה הייתה בוצה מסוג אנארובית שקיבלנו מהמפעל פרימור.

טיפול הפלפר על בוצה- פלפר (pulper) היא מכונה בענף החקלאות שנועדה להפריד את השאריות המוצקות מהנוזל שנסחט (pulp) (15). מכיוון שהמפעל שיער כי הגורם לחוסר התפקוד של הבוצה הוא חומר המצוי בשאריות הרימון בריכוז גבוה, עלה פתרון להעביר את שפכי הרימונים במכונת הפלפר ולהפרידם מהחלק המוצק. מכיוון שיעילות הפלפר בטיפול בבעיה לא הוכח, המפעל העביר עלינו שפכי רימונים משני סוגים, לפני טיפול בפלפר ואחרי טיפול בפלפר. במהלך העבודה נקרא להם "לפני פלפר" ו"אחרי פלפר". על פי המידע שניתן לנו מהמפעל, שפכי הרימונים מסוג "לפני פלפר" אמור לפגוע בתפקוד הבוצה יותר משפכי רימונים מסוג "אחרי פלפר".

### שיטות וחומרים:

שיטת המדידה בה השתמשנו לאורך כל המחקר היא Biological Oxygen Demand (BOD). השיטה מבוססת על ההנחה שהאורגניזמים הקיימים במי השפכים, והמפרקים את החומרים האורגניים, צורכים חמצן מומס מהנוזלים. לכן, במי שפכים בעלי ריכוז חומרים אורגניים גבוה, כלומר כאלו שלא עברו טיפול ע"י הבוצה האנארובית, קצב צריכת החמצן יהיה גבוה, מכיוון שהם יכילו יותר אורגניזמים שנמשכו לחומרים האורגניים. על פי הנחה זו אנחנו נצפה לראות צריכת חמצן נמוכה במי השפכים שעברו טיפול ע"י הבוצה.

### שיטת מדידה BOD 5:

את מדידת החמצן מבצעים בבקבוקונים בנפח 110 מ"ל. הבקבוקונים עטופים בנייר כסף, בכדי למנוע פוטוסינטזה אפשרית של אצות חד תאיות שאולי נמצאות בנוזל, תהליך אשר יגרום לייצור חמצן ואשר עלול להשפיע על תוצאות המדידה. המדידה מתבצעת ע"י מד חמצן אשר מודד את ערכי ריכוז החמצן המומס בנוזל ביחידות של מיליגרם/ליטר (mg/L). בכל בקבוקון מבצעים שתי מדידות - הראשונה ב"זמן 0" (במועד התחלת הניסוי), והשניה ב"זמן 5" - לאחר הדגרת הבקבוקון למשך 5 ימים באינקובטור חשוך בטמפרטורה של 20 מעלות צלזיוס. את הערכים שמתקבלים ממירים לערכי צריכת חמצן ע"י הנוסחה הבאה: חיסור נתוני המדידה בתחילת תקופת ההדגרה (זמן 0) מנתוני המדידה בסוף תקופת ההדגרה (זמן 5) וחלוקת ההפרש בפרק הזמן שבו בוצעה ההדגרה (16).

$$\text{BOD } 5 \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{\text{time } 5 - \text{time } 0}{5}$$



### שיטת חישוב יעילות השפעת הבוצה על שפכי הרימונים:

טיפול מוצלח בשפכים ע"י הבוצה האנארובית אמור להוביל לירידה בערכי צריכת החמצן הביולוגית של השפכים (BOD). על מנת לחשב את יעילות הטיפול, כלומר כמה אחוזים מהחומרים האורגניים פורקו ע"י הבוצה, חישבנו את יחס תוצאות ה-BOD של שפכים שעברו טיפול ע"י הבוצה מתוך תוצאות ה-BOD של שפכים שלא עברו טיפול (ביקורת שלילית). את המנה שיצאה החסרנו מ-1 והכפלנו ב-100 על מנת לקבל את תוצאות היעילות באחוזים.

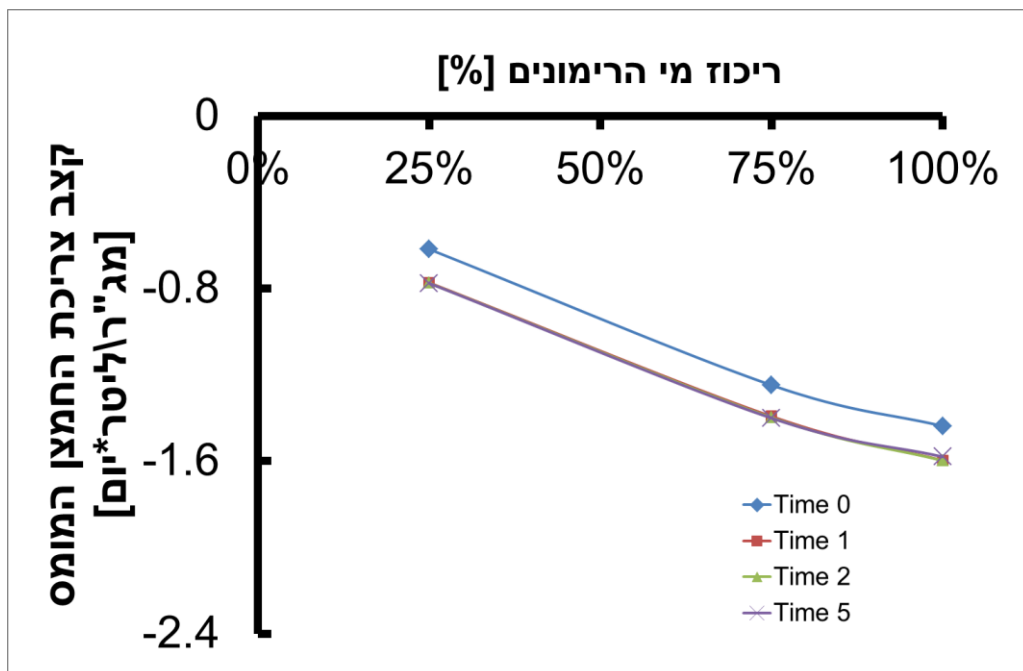
$$Efficiency (\%) = \left(1 - \frac{BOD\ 5\ treatment}{BOD\ 5\ control}\right) \times 100$$

### ניתוחים סטטיסטיים:

בכל הניסויים נבדקה מובהקות התוצאות ע"י בחינת גרפים של חפיפת סטיות התקן (סטיות התקן שורטטו כקווי שגיאה). במידה ונראתה חפיפה בסטיות התקן (קווי השגיאה) ההבדלים נחשבו כלא מובהקים ובמידה ולא נראתה חפיפה ההבדלים נחשבו כמובהקים ובמידת הצורך בוצע גם מבחן ANOVA לתוצאות על מנת לוודא את המובהקות.

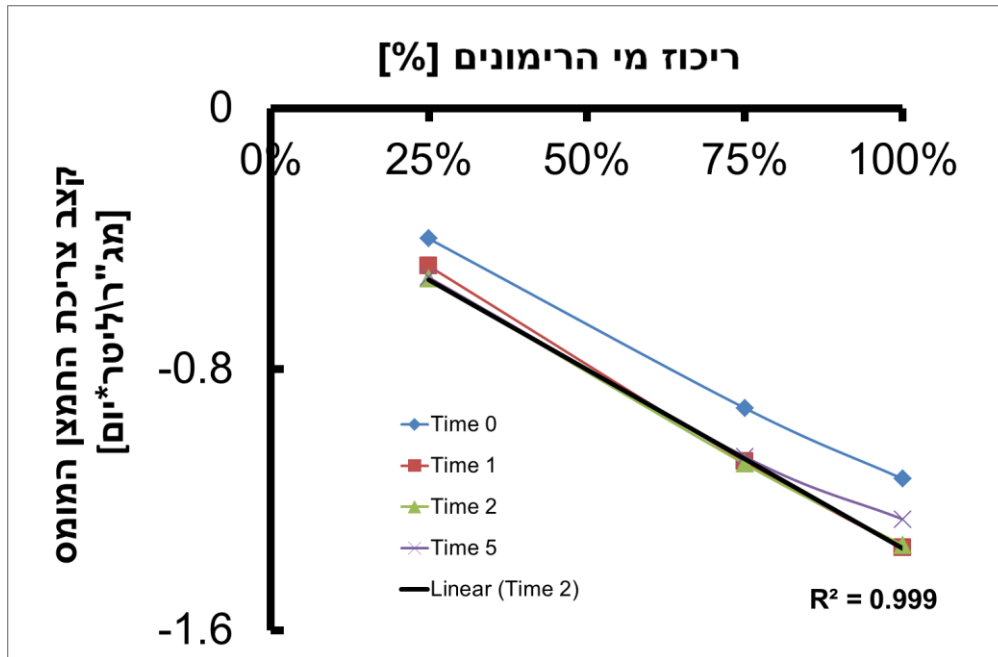
### כיול המכשיר ושיטת המדידה

בעזרת סדרת ניסויים פרלימינריים כיילנו את שיטת המדידה וקבענו את זמן המדידה האופטימלי של ריכוז החמצן המומס ע"י מד החמצן. בסדרת הניסויים מדדנו את קצב צריכת החמצן בשפכי רימונים משני הסוגים (before pulper, after pulper) בשלושה מיהולים שונים עם מי ברז - 100%, 75% ו-25% (איורים 1-2). כתבנו את ערכי ה-BOD של הריכוזים השונים לאחר דקה, 2 דק', 5 דק' ו-10 דק' בשתי המדידות (זמן 0 וזמן 5). כלומר, לגבי כל בקבוקון קיבלנו ארבע תוצאות בכל מדידה, וכל תוצאה חושבה מול התוצאה המתאימה לה (שנעשתה לאחר אותו פרק זמן) מהמדידה השנייה. על פי תוצאות המדידות (המוצגות בגרפים הבאים) נראה שתוצאות צריכת החמצן אינן משתנות בין המדידה לאחר דקה, 2 דק', ו-5 דק'. כלומר זמן המדידה האופטימלי הוא 2 דק', מכיוון שדקה נראה לנו כזמן לא מספק. כמו כן, התוצאות הראו שהיחס בין המיהולים השונים כמעט זהה, כלומר הבדלי צריכת החמצן בין 25% ל-75% כמעט זהה להבדלים בין 75% ל-100% מהמדידה של 2 דק'. זאת אומרת שהמכשיר מהימן ושאינו שנוי בתוצאות מ-2 דק' ואילך.





איור 1: השפעת ריכוז שפכי הרימונים מסוג לפני פלפר זמן המדידה על קצבי צריכת החמצן המומס (BOD). הניסוי נערך על מנת לקבוע מהו זמן המדידה המיטבי ולבחון את אמינות המערכת.



איור 2: השפעת ריכוז שפכי הרימונים מסוג אחרי פלפר זמן המדידה על קצבי צריכת החמצן המומס (BOD). הניסוי נערך על מנת לקבוע מהו זמן המדידה המיטבי ולבחון את אמינות המערכת.

### מערך מחקר:

משתנה בלתי תלוי- המשתנה הבלתי תלוי משתנה מניסוי לניסוי אך בכלום הוא קשור באופן ישיר לשפכי הרימונים. נפרט בתיאור כל ניסוי את המשתנה הבלתי תלוי שלו. משתנה תלוי- לאורך כל ניסויי המחקר המשתנה התלוי היה תפקוד הבוצה בעקבות חשיפתה לשפכי הרימונים. טיפולים- הטיפולים השתנו בניסויים השונים משום שבדקנו איך תנאים שונים משפיעים על המשתנים. חזרות- כל מדידה נעשתה 3 פעמים בכדי לוודא שהתוצאות אינן מקריות. ביקורות- לכל מדידה נעשו 2 ביקורות, שלילית וחיובית- שמטרתן הייתה לראות את התוצאות הקיצוניות של המדידה, כלומר מה יקרה כאשר אין שום חומר שמשפיע על הבוצה וכאשר יש חומר שבוודאות יפגע בה בהתאמה. הביקורת החיובית הייתה אקונומיקה אשר ידענו שתשבית את הבוצה באופן מוחלט, והביקורת השלילית הייתה מי ברז אשר שיערנו שלחלוטין לא יפגעו בבוצה.

## מהלך ניסוי:

המחקר נבנה על בסיס ארבעה ניסויים:

### ניסוי מס' 1: חשיפת הבוצה למי שפכים לפרקי זמן קצרים:

משתנה בלתי תלוי- פרקי זמן החשיפה למי השפכים (בדק').  
מטרת הניסוי הייתה לראות כמה זמן לוקח לשפכי הרימונים להזיק לפעילות הבוצה כאשר המשתנה התלוי הוא יכולת הטיפול בשפכים. כלומר, האם ניתן לראות שינוי בריכוזי החומרים האורגניים בשפכי הרימונים לאחר חשיפתם לבוצה והאם ישנו פרק זמן מינימלי בו הבוצה יכולה לעבוד באין מפריע ולא להינזק ממי השפכים. הניסוי התבסס על כך שאין אנו יודעים מהו פרק הזמן שלוקח לבוצה להנזק משפכי הרימונים.

מהלך הניסוי שבוצע: העמדנו על המטלטלת 9 בקבוקונים עם שפכי רימונים ובוצה ביחס של 1:10 וביקורות חיובית ושלילית. בחרנו 3 נקודות זמן לאורך הניסוי - 15,90 ו 180 [דק'] בהן העברנו את שפכי הרימונים משלושה בקבוקונים וביצענו מדידת BOD 5 במטרה לבדוק האם ריכוז החומרים האורגניים במי השפכים פחת בעקבות פעילות של הבוצה. הקושי בניסוי זה היה שהעבודה מול הבוצה האנארובית הייתה זרה לנו ולא ידענו באופן מוחלט אילו תנאים היא צריכה. הדבר הצריך ניסוי ותעיה רבים, וניהול תקשורת שוטפת מול המפעל לטיהור השפכים ואנשי הקשר שלנו בגן שמואל. כמו כן, בגלל שזוהי העבודה הראשונה שלנו עם החומר, לא ידענו איזו השפעה תהיה לו על הבוצה, למעט השערה על בסיס המידע שקיבלנו מהמפעל.

### ניסוי מס' 2: חשיפה לבוצה לשלושה שבועות, על שפכי רימונים לפני ואחרי פלפר:

משתנה בלתי תלוי- זמן חשיפת הבוצה לשפכי הרימונים (בשבועות).  
בעקבות הניסוי הראשון, הבנו שלא ניתן לראות שינוי משמעותי בתגובתיות הבוצה לאחר חשיפתה למי השפכים לפרקי זמן קצרים, ולכן נצטרך לחשוף את הבוצה לשפכי הרימונים לפרקי זמן ארוכים יותר שבהם נצפה לראות שינוי ביכולת שלה לנקות את מי השפכים. כלומר, האם בפרקי זמן ארוכים יותר חל שינוי משמעותי יותר בריכוז החומרים האורגניים בשפכי הרימונים כתוצאה מחשיפתם לבוצה. כמו כן, בניסוי זה ערכנו השוואה בין סוגי שפכי הרימונים שיש לנו (before pulper, after pulper) ובדקנו האם השפעתם על הבוצה שונה. מהלך הניסוי שבוצע: העמדנו על המטלטלת 18 בקבוקים עם שפכי רימונים, 9 לפני פלפר ו- 9 אחרי פלפר, ובוצה ביחס של 1:10 יחד עם הביקורות החיוביות והשליליות. פרקי הזמן למדידה נקבעו אחת לשבוע למשך שלושה שבועות. בכל נקודת מדידה הוצאנו 6 בקבוקים, 3 לפני פלפר ו-3 אחרי פלפר, העברנו את שפכי הרימונים לבקבוקוני BOD וביצענו מדידת 5 BOD במטרה לבדוק האם ריכוז החומרים האורגניים בכל אחד מסוגי שפכי הרימונים פחת בעקבות פעילות הבוצה. בעקבות המעבר לפרקי זמן ארוכים יותר בהם חשופה הבוצה לשפכי הרימונים נאלצנו לתכנן מערכת גידול ייחודית: הבעיות שנתקלנו בהן היו ליצור מערכת סגורה שאינה מאפשרת מגע של חמצן עם הבוצה, משום שהיא זקוקה לסביבה אנארובית, ובמקביל מערכת המאפשרת סילוק של מתאן (גז תוצר לוואי של פעילות הבוצה). התגברנו על הבעיה באמצעות יצירת מערכת חד כיוונית המאפשרת יציאה של גזים מהבקבוקים אך מונעת כניסה (איור 3), על ידי מעבר של הגזים במים. כלומר, הגזים יוצאים מהבקבוק דרך צינור לתוך מיכל מים ומשתחררים כבועות אוויר אך קצב הפעפוע של החמצן

דרך סביבה מימית לא מסוחררת הוא איטי מאד ולכן אין אפשרות לגזים מהסביבה החיצונית להכנס לצינורות ולחדור חזרה לבקבוקים. בעיה נוספת שנתקלנו בה היא אספקת מזון שוטפת לבוצה. ע"פ הספרות הבנו שהבוצה זקוקה לכמות גלוקוז של 0.2 גר"/ל" כל יום, מה שאומר שעלינו לספק לה באופן יום יומי מי גלוקוז. את הדבר ביצענו ע"י הכנת מי סוכר בריכוז הנכון והזרקתם לבקבוקים מידי יום.



איור 3. המערכת האנארובית הבנוייה על העברת הגזים ממיכל בו מוחזקת הבוצה ע"י צינור פלסטיק לבקבוק מלא במים, אך שהגזים יוצאים דרך המים ונמנעת כניסה לא רצויה של חמצן למיכל הבוצה.

### ניסוי מס' 3: חשיפה לבוצה לשלושה שבועות עם ריכוזי סוכר שונים

משתנה בלתי תלוי- ריכוז הסוכר (באחוזים) בתמיסה שהוזרקה לבוצה לאורך חשיפתה לשפכי הרימונים.

הניסוי השני הראה תוצאות מפתיעות שמראות שפעילות הבוצה אכן ניזוקה בעקבות החשיפה לשפכי הרימונים אך משקמת את עצמה וחוזרת לתפקוד גבוה יחסית לאורך זמן. בעקבות התוצאות בדקנו באיזה אופן פעלנו בצורה שונה מהמפעל, ומצאנו שהמפעל מספק לבוצה כמות גלוקוז גדולה פי 1,000 מהכמות הרשומה בספרות. מכאן ניתן להסיק, שיש סיכוי גדול שבכמות הסוכר במפעל, הבוצה עוברת "הרעלת סוכר" ותפקודה אינו משתקם משום שהיא חלשה יותר. כתוצאה מכך, החלטנו לבדוק האם הירידה ביעילות הבוצה נובעת משימוש בריכוזי סוכר גבוהים מידי, שגורמים לשוק אוסמוטי לחיידקי הבוצה, והאם שימוש בריכוז נמוך יותר, ע"פ הספרות, יגרום להפחתת הפגיעה של שפכי הרימונים, משני הסוגים, בבוצה.

מהלך הניסוי שבוצע: העמדנו על המטלטלת 4 בקבוקים עם שפכי רימונים (2 מכל סוג שפכים) ובוצה ביחס של 1:10, עם הביקורות. לכל בקבוק הכנסו מידי יום מי גלוקוז, בריכוז שונה - 0.2 גר/ל' ו-150 גר/ל'. בתום נקודת זמן יחידה של שלושה שבועות ביצענו מדידת 5 BOD על השפכים.

מטרת הניסוי היתה לבדוק האם המפעל אכן משתמש בכמות מופרזת של סוכרים להאכלת הבוצה ובכדי לבדוק האם בריכוזי סוכר נמוכים יותר הבוצה תתפקד טוב יותר על שפכי הרימונים. גם בניסוי הזה היה צורך בהאכלה ידנית יומיומית של הבקבוקים במי סוכר בשני ריכוזים שונים. ממחקר וניסוי זה, הסקנו שנוכל להשתמש בפקקים משחררי לחץ במקום המערכת שבה השתמשנו בניסוי הקודם.

### ניסוי מס' 4: ניסוי סופי, מדידת השפעת טיפול מקדים על שפכי הרימונים

משתנה בלתי תלוי- טיפול מקדים שעברו שפכי הרימונים לפני חשיפת הבוצה אליהם. בעקבות סדרת הניסויים שערכנו שבעקבותיהם למדנו כיצד לשמר בוצה בריאה לפרק זמן ארוך חזרנו לשאלה המקורית והיא בדיקת סינונים מקדימים שונים של שפכי הרימונים במטרה להפריד מהם את הרעלן (הפוליפנוול) שפוגע בבוצה. מטרת הניסוי הייתה לבדוק לבדוק האם ניתן להשתמש בעלי הדולב כמסנן של שפכי הרימונים והאם הסינון מצליח להפריד מהשפכים את הרעלן ולמנוע את הפגיעה בבוצה האנארובית.

מהלך הניסוי שבוצע: העמדנו על המטלטלת 4 בקבוקים עם שפכי רימונים, 2 מכל סוג, ובוצה ביחס של 1:10. כמו כן הועמדו 2 ביקורות חיוביות של אקונומיקה ו-2 ביקורות שליליות של מי ברז. בבקבוק אחד מכל סוג היו שפכי רימונים שלא נעשה עליהם שום טיפול, ובאחד שפכי רימונים שסוננו דרך עלי דולב. כמו כן אחת מכל הביקורות סוננו בעלי דולב. לאחר שלושה שבועות נלקחה מכל בקבוק כמות קטנה של בוצה ואותה חשפנו במשך רבע שעה לנוזל מאותו הסוג בו היא הודגרה עד כה. לאחר מכן ביצענו על הנוזל מדידת 5 BOD. לאחר חודש וחצי ביצענו שוב אותו הנוהל.

האילוץ הטכני בו היינו צריכים להאכיל את הבוצה על בסיס יומיומי למשך תקופה ארוכה הוליד את בנייתה של מערכת חדשה (איור 4) שתספק לבוצה מזון בצורה אוטומטית. המערכת התבססה על שעון שבת שחובר למשאבה, שהזרימה לבקבוקים מידי יום מי גלוקוז למשך מספר שניות. בעזרת ניסוי ותעייה הסקנו שזהו פרק הזמן המספק לבקבוקים את כמות מי הגלוקוז הרצויה.



איור 4. מערכת סיפוק תמיסת הסוכר לניסוי. הבקבוקים (העטופים בנייר אלומיניום) נמצאים על המטלטלת ואליהם מחוברת (דרך הפקק) מערכת השקיה (טפטפות) המספקת להם תמיסת סוכר מידי יום ע"י משאבת מים ושעון שבת.

## תוצאות:

ניסוי מס' 1:

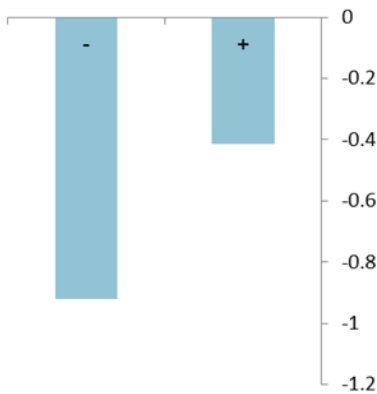
ניסוי זה הראה כי אין הבדלים מובהקים בתוצאות קצב צריכת החמצן בפרקי הזמן הקצרים בהם מדדנו (איור 1). ניתן לראות ע"פ הגרף של קצב הצריכה שאין מגמת שינוי קבועה, כלומר קצב צריכת החמצן לא עלה בהתאמה למשך הזמן בו הבוצה נחשפה לשפכי הרימונים.

כמו כן, קצב צריכת החמצן (שמעיד על ריכוז החומרים האורגניים בנוזל הנמדד) בכל זמני החשיפה של הבוצה לשפכי הרימונים, לא היה שונה באופן משמעותי מקצב צריכת החמצן של מי הברז (הביקורת השלילית). ובכל זמני החשיפה התקבלו תוצאות צריכת חמצן גבוהות יותר משל הביקורת החיובית (אקונומיקה), שהיא תוצאות של קצב צריכת חמצן בנוזל שאין בו כלל פעילות חיידקית. כלומר, אם הבוצה הייתה מפרקת חלק ניכר מהחומרים האורגניים בשפכי הרימונים היינו רואים קצב צריכת חמצן דומה לקצב צריכת החמצן של הביקורת החיובית ושונה באופן משמעותי יותר מקצב צריכת החמצן של הביקורת השלילית. בגרף היעילות (התחתון) ניתן לראות שיעילות הבוצה בין פרקי הזמן אינו משתנה גם הוא במגמה קבועה, כלומר זמן חשיפה ארוך יותר לא יגרום בהכרח לניקוי משמעותי יותר. למרות זאת, אחוזי היעילות נראו גבוהים יחסית ולא אפסיים וניתן לקבוע על פיהם שהבוצה משפיעה על שפכי הרימונים. מכאן ניתן להסיק כי דרך זו של מדידת יעילות הבוצה מגדירה ערך מדידה רגיש יותר לשינויים קטנים ולכן מדויק יותר.

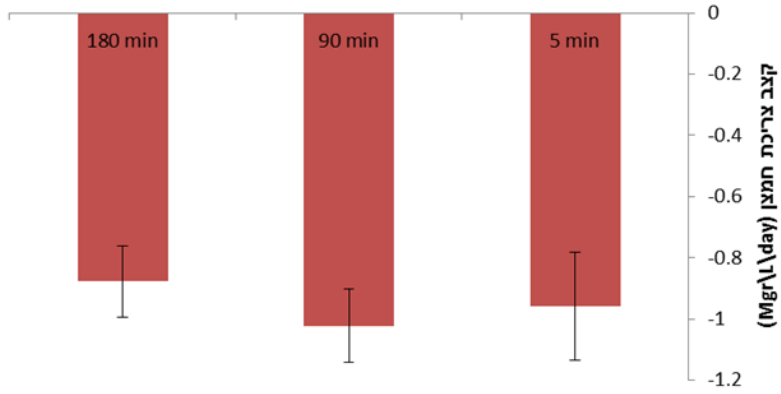
ניתוחים סטטיסטיים- מובהקות התוצאות נבדקה בגרפים ע"י השוואת סטיות התקן של התוצאות. בגרף הקצב ניתן לראות שקווי השגיאה חופפים ומכאן שלא ניתן להסיק בוודאות שישנה השפעה שלילית של שפכי הרימונים על הבוצה הגורמת לפגיעה ביעילותה. כמו כן בגרף היעילות ניתן לראות שסטיות התקן אינן חופפות אך גם אינן מגמתיות, מה שקובע כי בפרקי זמן קצרים אין הבדלים משמעותיים בתפקוד הבוצה וטיהור שפכי הרימונים, לכן ניתן להשתמש בפרקי זמן קצרים בכדי לקבוע את השפעתה על השפכים, אך לא בכדי לקבוע את השפעת השפכים עליה.



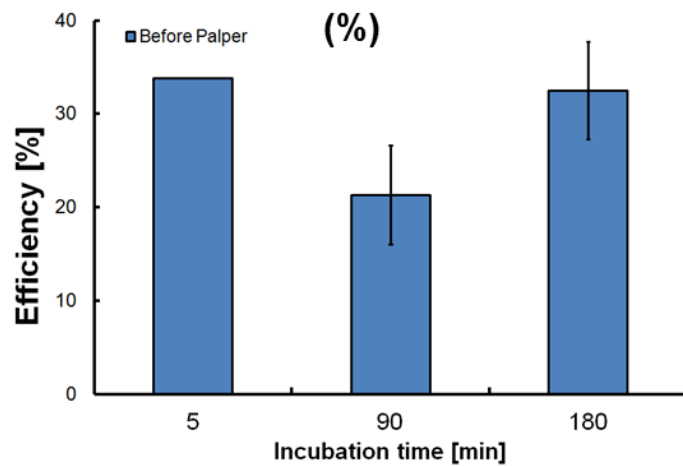
### ביקורות



### חשיפת הבוצה לשפכים (דק')



### יעילות השפעת הבוצה על השפכים (%)



איור 5: תוצאות ניסוי מס' 1. השפעת משך חשיפת הבוצה לשפכי הרימונים מסוג לפני פלפר על קצב צריכת החמצן הביולוגית (BOD) של שפכי הרימונים. בגרף העליון הימני, באדום מסומנים קצבי הצריכה של שפכי הרימונים שנחשפו לבוצה לפרקי הזמן השונים ובגרף העליון השמאלי, באפור מסומנים הביקורות, החיובית מסומנת ב+ והשלילית ב-. בגרף התחתון, בכחול מוצגת יעילות השפעת הבוצה על שפכי הרימונים (באחוזים). קווי השגיאה מייצגים את סטיית התקן.

### ניסוי מס' 2:

על פי ניסוי זה, לא נצפתה ירידה ביעילות הבוצה וביכולתה לפרק חומרים אורגניים משפכי הרימונים. כלומר, לא נראתה פגיעה בבוצה. הגרף העליון הראה כי צריכת החמצן של שפכי הרימונים מסוג אחרי פלפר נמוכה יותר משפכי הרימונים מסוג לפני פלפר (איור 2) ומכאן שריכוז החומרים האורגניים בשפכים מסוג אחרי פלפר נמוך יותר, כיוון שריכוז החומרים האורגניים ההתחלתי של השפכים (שעברו טיפול במכונת פלפר) נמוך יותר. הגרף התחתון מראה שיעילות השפעת הבוצה על שפכי הרימונים מסוג לפני פלפר נראה קבוע לאורך כל זמני הניסוי ולא נמדדה עליה או ירידה ביעילות. לעומת זאת, יעילות השפעת הבוצה על שפכי הרימונים מסוג אחרי פלפר עולה לאורך זמני הניסוי. כמו כן נראה שאחוזי יעילות השפעת הבוצה על שפכי הרימונים מסוג לפני פלפר גבוהים יותר מאחוזי יעילות השפעת הבוצה על שפכי הרימונים מסוג אחרי פלפר.

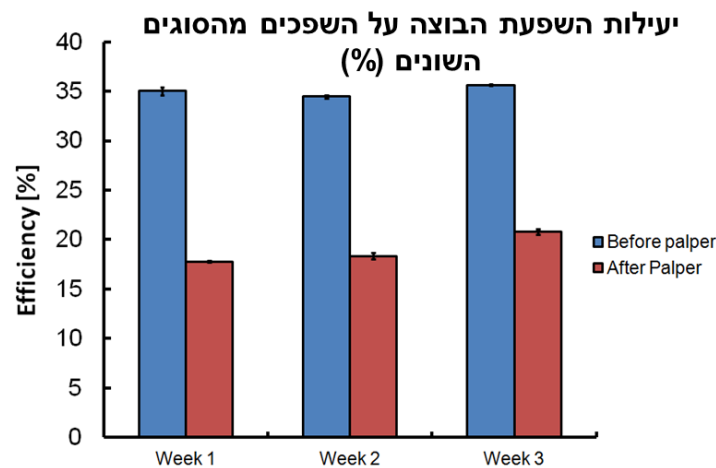
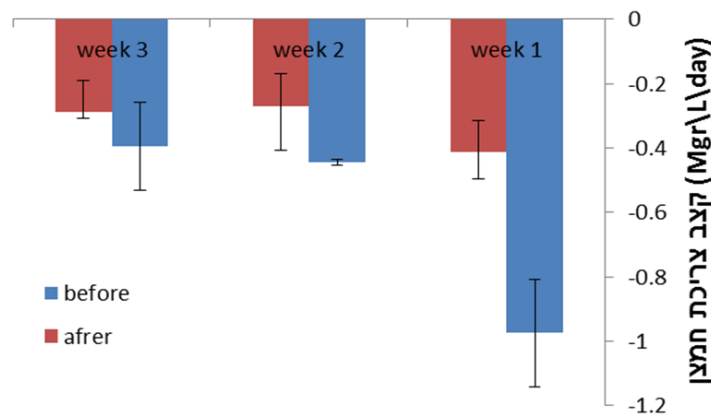


ניתוחים סטטיסטיים-

ניתן לראות ע"פ סטיית התקן שתוצאות הגרף העליון מראות הבדלים מובהקים בקצב צריכת החמצן. על מנת לוודא את מובהקות ההבדלים ביצענו לתוצאות מבחן ANOVA, מבחן המשווה בין השוניות בין החזרות לשוניות שבין הטיפולים. תוצאות המבחן על השפכים מסוג לפני פלפר הראו הבדל מובהק בין השבוע הראשון לשבוע השני ולשבוע השלישי ( $0.01 > P$ ) ובין השבוע השני לשלישי לא נמצא הבדל מובהק. תוצאות המבחן בשפכים מסוג אחרי פלפר לא הראו הבדלים מובהקים. כלומר, על השפכים מסוג לפני פלפר הבוצה תפקדה, וקצב צריכת החמצן בשפכים ירד (דבר שמעיד על ירידה בריכוז החמורים האורגניים בשפכים). על השפכים מסוג אחרי פלפר לא ניתן לומר זאת בוודאות, אולם נראית מגמת ירידה ב-BOD המעידה כנראה על טיפול מסוים.

סטיות התקן של הגרף התחתון בתוצאות של לפני הפלפר חופפות ואינן מראות הבדלים. התוצאות של אחרי הפלפר אינן חופפות, כלומר מראות הבדלים מובהקים בין אחוזי היעילות. הגרף התחתון מראה יציבות בעילות השפעת הבוצה על שפכי הרימונים מסוג לפני פלפר ועליה בעילות השפעת הבוצה על שפכי הרימונים מסוג לפני פלפר.

חשיפת הבוצה לשפכים (שבועות)

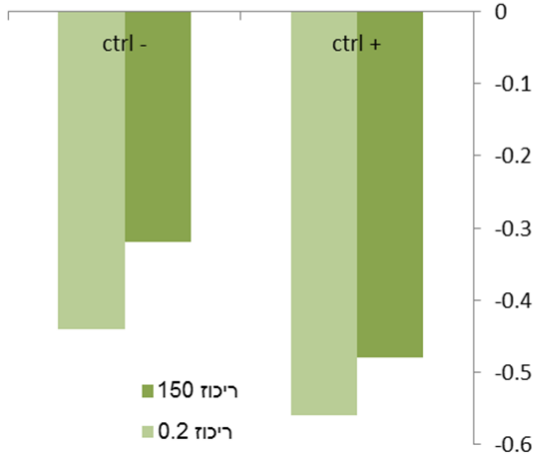


איור 6: תוצאות ניסוי מס' 2. השפעת חשיפת הבוצה לשפכי הרימונים מסוג לפני ואחרי פלפר על קצב צריכת החמצן הביולוגית (BOD) של שפכי הרימונים. בגרף העליון, באדום מסומנים קצב הצריכה של שפכי הרימונים מסוג אחרי פלפר שנחשפו לבוצה האנארובית לפרקי זמן שונים ובכחול מסומנים קצב הצריכה של שפכי הרימונים מסוג לפני פלפר. בגרף התחתון, באדום מסומנים יעילות השפעת הבוצה על שפכי רימונים מסוג אחרי פלפר לאחר חשיפה לפרקי זמן שונים ובכחול מסומנים יעילות השפעת הבוצה על שפכי הרימונים מסוג לפני פלפר.

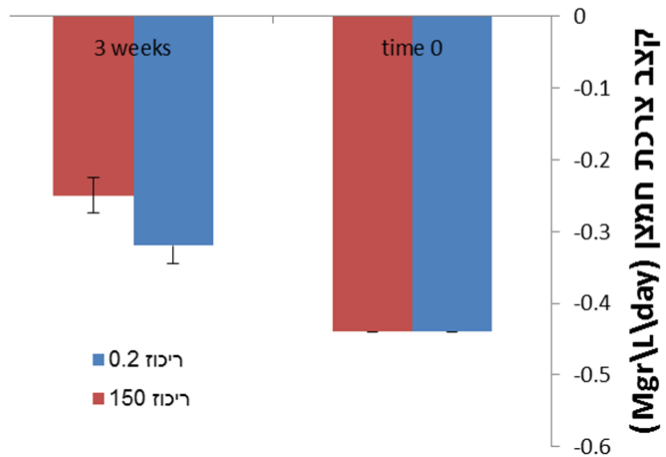
### ניסוי מס' 3:

בניסוי נראתה ירידה ב-BOD, שמעידה על טיפול הבוצה בשפכים בשני ריכוזי הסוכר. הביקורות בניסוי היו מדידת צריכת חמצן לשפכי רימונים חדשים, לאחר חשיפה ממושכת לנוזל הביקורת (ביקורת חיובית- אקונומיקה, ביקורת שלילית- מי ברז). ע"פ הביקורת החיובית, הבוצה שנפגעה מראה נתוני BOD גבוהים, כלומר לא נעשה טיפול בשפכים. גם ע"פ הביקורת השלילית לא נראה שינוי משמעותי ב-BOD והבוצה לא ניקתה את שפכי הרימונים. הדבר מעלה שתי שאלות: הראשונה - האם ניתן לראות בכלל שינוי אמיתי של ה-BOD בשפכי הרימונים בעקבות טיפולם מהבוצה. השניה - האם מי הברז פוגעים בבוצה. ע"פ הגרף התחתון נראה שיעילות השפעת הבוצה על שפכי הרימונים הגבוהה משתנה בהתאם לריכוז הסוכר כאשר בריכוז  $0.002 \text{ mgr/L}$  היעילות נמוכה, בריכוז  $0.2 \text{ gr/L}$  היעילות גבוה יותר ובריכוז  $150 \text{ gr/L}$  היעילות שוב יורדת. ניתוחים סטטיסטיים- בגרף העליון ובגרף התחתון מוצגות סטיות תקן לא חופפות, כלומר ההבדלים מובהקים. בגרף העליון נראה כי קצב צריכת החמצן נמוך יותר בשפכים שניזונו מריכוז סוכר גבוה, אולם בגרף התחתון נראה שיעילות השפעת הבוצה על השפכים שניזונו מריכוז סוכר נמוך יותר גבוה יותר מבריכוז הגבוה. כמו כן נראה שבריכוז  $0.002 \text{ mgr/L}$  היעילות גם נמוכה יותר, כלומר היעילות הגבוהה ביותר נמדדה בריכוז  $0.2 \text{ gr/L}$ .

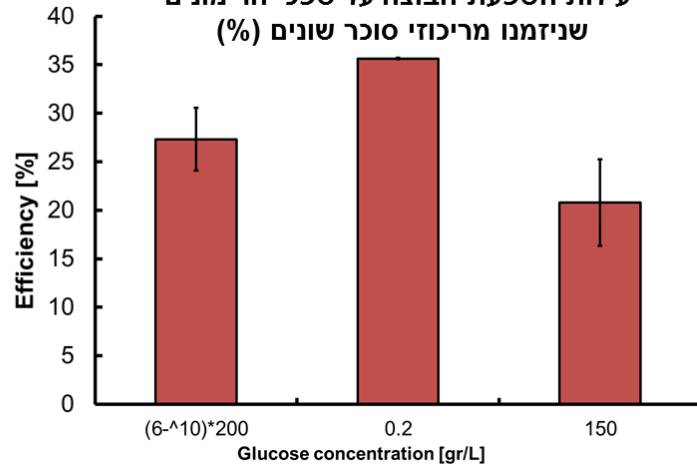
**ביקורות**



**חשיפת הבוצה לשפכים ולשני ריכוזי סוכר שונים (gr/l)**



**יעילות השפעת הבוצה על שפכי הרימונים  
שניזמנו מריכוזי סוכר שונים (%)**



איור 7: תוצאות ניסוי מס' 3. השפעת תמיסות של ריכוזי סוכר שונים שמוזרקים לבקבוקוני הניסוי על תפקוד הבוצה, לאחר חשיפתה לשפכי רימונים מסוג "אחרי פלפר". בגרף העליון הימני, באדום מסומנים קצב הצריכה של שפכי הרימונים שנחשפו לבוצה ולהם הוזרקה תמיסת סוכר בריכוז 150 gr/L ובכחול מסומנים קצב הצריכה של שפכי הרימונים שנחשפו לבוצה ולהם הוזרקה תמיסת סוכר בריכוז 0.2 gr/L. בגרף העליון השמאלי, הצבעים הירוקים מסמנים את הביקורות, החיובית מסומנת ב+ והשלילית ב-, בירוק מסומנים קצב הצריכה של הביקורות שנחשפו לבוצה ולהם הוזרקה תמיסת סוכר בריכוז 150 gr/L ובירוק בהיר מסומנים קצב צריכת החמצן של הביקורות שנחשפו לבוצה להם הוזרקה תמיסת סוכר בריכוז 0.2 gr/L. בגרף זה התחתונים מוצגים אחוזי היעילות של השפעת הבוצה על שפכי הרימונים בריכוזים השונים. בגרף זה בנוסף לשני הריכוזים שמדדנו, מוצג גם הריכוז בו השתמשנו בניסוי הקודם (בריכוז 0.002 mgr/L).

#### ניסוי מס' 4:

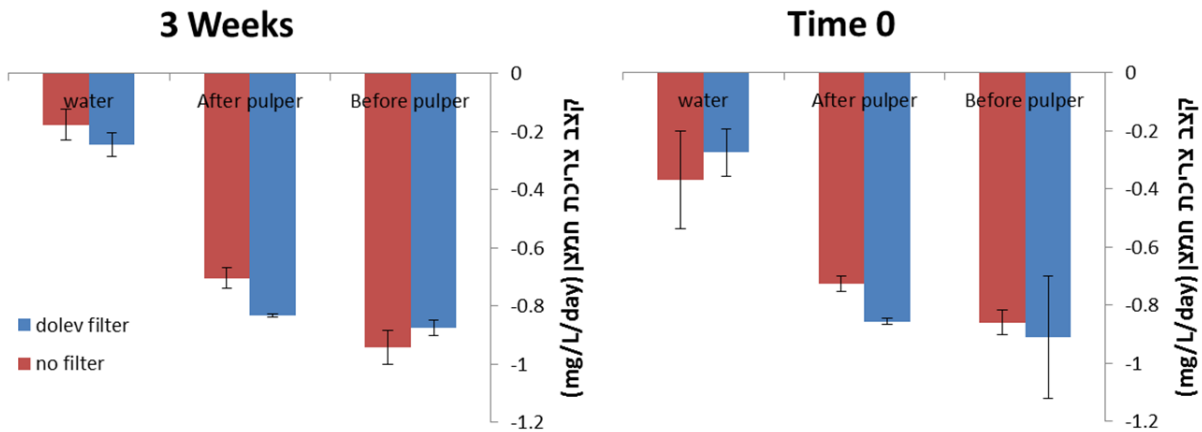
מהגרפים העליונים, העוסקים בקצב צריכת החמצן של השפכים, ניתן לראות שבזמן 0 (הגרף הימני) צריכת החמצן הייתה נמוכה יותר בשפכים שלא עברו טיפול מקדים בעלי דולב לעומת אלו שעברו טיפול. כלומר, בגרף זה עוד לא נראה שיפור במצב הבוצה בעקבות עלי הדולב. בעמודת הביקורת, שבה נחשפה הבוצה למי ברז שעברו ולא עברו טיפול מקדים בעלי דולב, נראה כי במים שעברו טיפול התבצעה צריכת חמצן נמוכה יותר מאשר במים שלא עברו טיפול. אך משום שהמים אינם מכילים רעלנים, שעלי הדולב אמורים לסלק, אין זה אומר שנתוני הצריכה מושפעים מהטיפול.

לאחר שלושה שבועות (הגרף השמאלי), רואים שבשפכים מסוג לפני פלפר נמדדה צריכת חמצן נמוכה יותר בשפכים שעברו טיפול מקדים לעומת אלו שלא עברו. אולם בשפכים מסוג אחרי פלפר, המצב נראה הפוך וצריכת החמצן של השפכים שלא עברו טיפול מקדים נראים נמוכים יותר. בגרף זה ניתן לראות היפוך בתוצאות הביקורת ונראה שצריכת החמצן של המים שלא עברו טיפול מקדים נמוכות יותר. דבר זה מוכיח שמי הברז אינם מושפעים מהטיפול בעלי הדולב, שמטרתן לנקות רעלנים שנמצאים בשפכי הרימונים ואינם נמצאים במי הברז.

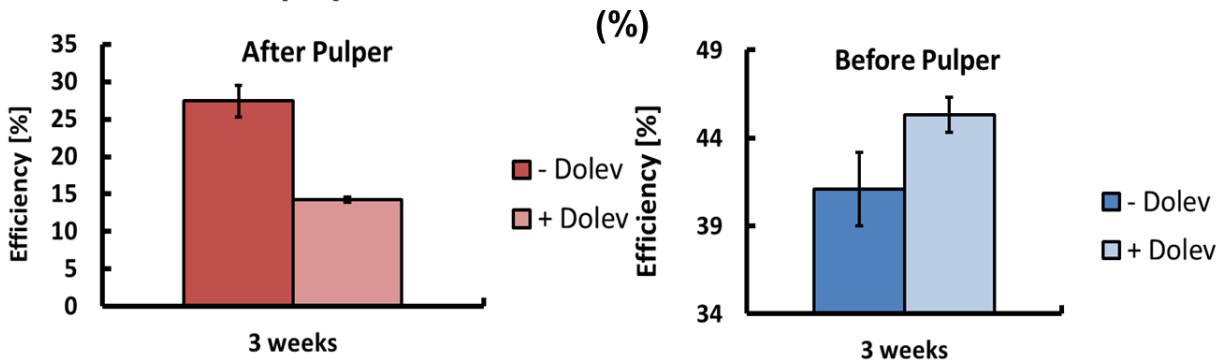
בגרפים התחתונים, העוסקים ביעילות השפעת הבוצה על שפכי הרימונים השונים נראה שוב, בצורה ברורה יותר, שהטיפול המקדים בעלי הדולב הוריד את היעילות של השפעת הבוצה על השפכים מסוג אחרי פלפר, והעלה את היעילות עבור השפכים מסוג לפני פלפר.

ניתוחים סטטיסטיים- ע"פ נתוני כל הגרפים נראה שהטיפול המקדים בעזרת עלי הדולב עובד על השפכים מסוג לפני פלפר ולא עובד על השפכים מסוג אחרי פלפר, כלומר נראה שהפגיעה בבוצה מהשפכים מסוג לפני פלפר יורדת והשפעתה על שפכי הרימונים עולה. כדי לבדוק את מובהקות התוצאות ביצענו מבחן ANOVA שהראה כי בשפכים מסוג אחרי פלפר, בהם לא נראתה השפעה חיובית של הטיפול המקדים וצריכת החמצן בשפכים שעברו טיפול נראו גבוהים יותר, התוצאות מובהקות ( $p < 0.01$ ) ובשפכים מסוג לפני פלפר, בהם נראתה השפעה חיובית של הטיפול המקדים וצריכת החמצן בשפכים שעברו טיפול נראו נמוכים יותר, התוצאות אינן מובהקות ( $p > 0.1$ ) ואין להסתמך עליהן.

## חשיפת הבוצה לשפכי הרימונים מסוגים השונים עם ובלי סינון מקדים ע"י דולב



## יעילות השפעת הבוצה על שפכי הרימונים הסונים עם ובלי סינון מקדים ע"י דולב



איור 8: תוצאות ניסוי מס' 4. השפעת טיפול מקדים בשפכי הרימונים משני הסוגים בעזרת עלי דולב על קצב צריכת החמצן הביולוגית (BOD) בתחילת הניסוי ולאחר שלושה שבועות (גרף עליון ימני ועליון שמאלי בהתאמה). כמו כן מוצגות ביקורות של מי ברז שעברו ולא עברו את הטיפול. בגרפים העליונים מוצגים באדום נתוני צריכת החמצן של הנוזלים (שפכי רימונים מהסוגים השונים וביקורות של מי ברז) שלא עברו טיפול מקדים ע"י דולב בצבע אדום ונתוני צריכת החמצן של הנוזלים שעברו טיפול מקדים ע"י דולב בצבע כחול. הגרפים התחתונים מראים את יעילות הטיפול (%) בשפכי רימונים לפני, בצבעי כחול, ואחרי פלפר, בצבעי אדום (גרף ימני תחתון ושמאלי תחתון בהתאמה). הצבעים הבהירים מראים את היעילות של הבוצה על שפכי רימונים שעברו טיפול מקדים והצבעים הכהים מראים את היעילות על שפכים שלא עברו טיפול מקדים. הערכים מייצגים ממוצעים של 3 חזרות. קווי השגיאה מייצגים את סטיות התקן.

## דיון:

בעבודה זו ניסינו לבחון את הפגיעה של שפכי רימונים בבוצה אנארונית ולנסות לטפל בפגיעה בדרכים אקולוגיות.

בניגוד להשערות שהבוצה תיפגע בעקבות החשיפה לשפכי הרימונים ולא תטפל בהם כראוי, תוצאות הניסוי לא הראו באופן מובהק את פגיעת הבוצה, לא בחשיפות קצרות (עד 180 ד', ניסוי מס' 1, איור 5) ולא בחשיפות ארוכות (שלושה שבועות, ניסויים מס' 2 ו-3, איורים 6 ו-7). לאורך כל הניסויים נראה שהבוצה מורידה את ריכוז החומרים האורגניים בשפכי הרימונים וכתוצאה מכך את צריכת החמצן הביולוגית שלהם. תוצאות אלו מפתיעות, וייתכן שהן מעידות על גורם אחר (מלבד שפכי הרימונים עצמם) שפוגע בתפקוד הבוצה.

כפי שהתגלה בניסוי מס' 2 (איור 6), הטיפול במכונת הפלפר מוריד את ה-BOD בשפכים אך גם את יעילות ניקויים ע"י הבוצה האנארונית. כלומר, ריכוז החומרים האורגניים בשפכים שעברו את הטיפול במכונה נמוך יותר עוד לפני חשיפת השפכים לבוצה, אך השפעת הבוצה על שפכים אלו נמוכה יותר. מכונת הפלפר מפרידה מהשפכים את שאריות הפרי שנמצאים בהם (15), שהם חומר אורגני. לכן ריכוז החומרים האורגניים בו נמוך יותר. אך פעולה זו גורמת לניקוי יעיל פחות של הבוצה. הסבר אפשרי לתוצאות אלו הוא העובדה שריכוז החומרים האורגניים בשפכים שעברו פלפר נמוך יותר מלכתחילה, לכן לבוצה היו פחות חומרים אורגניים לפרק וההבדלים בין צריכת החמצן לפני החשיפה לבוצה לזו שאחרי קטנים יותר מאשר בשפכים שלא עברו פלפר וריכוז החומרים האורגניים בהם גבוה יותר, דבר שנראה כיעילות נמוכה יותר אך מעיד בעצם על צורך נמוך יותר בפעילות הבוצה. מכיוון שלמרות היעילות ה"כביכול נמוכה יותר", נראה כי ריכוז החומרים האורגניים בשפכים שעברו פלפר נמוך יותר, אפשר לשער שמכונת הפלפר אכן גרמה לשיפור בטיהור השפכים. כמו כן, יכול להיות שהחומר שמקשה על הטיפול בשפכי הרימונים נמצא מומס בנוזל ולא בשאריות שמכונת הפלפר מנקה מהנוזלים. לכן לאחר הפרדת השאריות ע"י המכונה ריכוז החומר המזיק בנוזל עולה והשפעתו על הבוצה עולה ומורידה את יעילות ניקוי השפכים ע"י הבוצה (ניסוי מס' 2, איור 6), בהשוואה ליעילות ניקוי השפכים שלא עברו פלפר.

בסקר הספרות ובקריאה על הבוצה הנחיות הזנה בתמיסת סוכר בריכוזים נמוכים פי 100 מההנחיות שקיבלנו מהמפעל, דבר שעורר אצלנו את השאלה האם הפגיעה בבוצה אינה קשורה לשפכי הרימונים אלא לטיפול שגוי בה, והאם טיפול מתאים יראה תוצאות שונות. מניסוי מס' 3 (איור 7) נראה כי אכן יעילות הטיפול בשפכים שהוזרקה להם תמיסת סוכר בריכוז שהוצע בספרות גבוה יותר מיעילות הטיפול בשפכים שהוזרקה להם תמיסת סוכר בריכוז שהציע המפעל. כמו כן נראה שגם בריכוז נמוך מידי היעילות פחותה יותר, ככול הנראה משום שאין לבוצה מספיק אנרגיה לפעילות מיטבית. תוצאות אלו מאשרות את ההנחה שלריכוז הסוכר ישנה השפעה ניכרת על תפקוד הבוצה וריכוז מתאים מביא ליעילות גבוהה יותר ויש לבחון בקפידה את ריכוזי הסוכר המגיעים למתקן הטיפול של המפעל, על מנת לאפשר פעילות מיטבית של הבוצה. ייתכן שתפקוד הבוצה יעלה באופן כללי בעקבות שימוש בריכוז סוכר נכון או דילול השפכים להורדת עומס הסוכר.

שיערנו שהפגיעה נעשית ע"י חומר בשם פוליפנול (10,11,12), שניתן להפריד מהשפכים ע"י טיפול מקדים לשפכי הרימונים באמצעות פחם פעיל. בעקבות הדמיון המולקולרי בין הפחם הפעיל ועלי הדולב המיובשים (7), הנחנו שניתן יהיה להפריד את הרעלן בעזרת עלי הדולב. הנחה זו נבחנה בניסוי מס' 4 (איור 8), והתוצאות הראו שהסינון בעלי דולב אינו משפיע

בצורה מובהקת על יעילות הניקוי של השפכים שלא עברו פלפר. יעילות הטיפול בשפכים שעברו פלפר נפגעה מהסינון בעלי הדולב, כך שנראה שלא מומלץ לשלב בין שיטת הסינון במכונת פלפר ושיטת הסינון בעלי דולב, שכן הן פוגעות אחת ביעילות השנייה. נותר לבדוק מהי השיטה היעילה יותר מבין השתיים.

אנו ממליצים על מחקר נוסף שיבדוק את השפעת שפכי הרימונים על הבוצה בתנאי מעבדה טובים יותר וכמו כן בדיקת ההשפעה והפגיעה בהשוואה לסוגים שונים של שפכים, מהם הבוצה לא נפגעת. במחקר שלנו הייתה חסרה השוואה למצב בו הבוצה עובדת באופן תקין, על שפכים מסוג שאינם רימונים, ולכן איננו יכולים להצביע בוודעות על פגיעה בתפקוד הבוצה. כמו כן חסרה אצלנו השוואה בין השפעת הסינון בעלי הדולב והסינון בפחם פעיל על תפקוד הבוצה, ולכן איננו יכולים להגיד בוודאות שהסינון בעלי הדולב יעיל באותה מידה וניתן להשתמש בו באופן תעשייתי. ההשוואה לטיפולים שידוע לנו שעובדים חשובה משום שכך ניתן לראות באופן מובהק שינוי בעקבות שיפור או פגיעה של טיפול מסויים.

מחקר נוסף שאנו מציעים הוא בדיקה של גורמים אחרים שאינם מרכיבי הרימון על השפעת הבוצה, כגון טמפ', pH, חשיפה לאור, חשיפה לפרקי זמן ארוכים יותר, טיפולים נוספים להורדת ריכוז החומרים האורגניים במי השפכים, ריכוז הסוכר אליו נחשפת הבוצה ועוד... ייתכן שהפגיעה נעשת מסיבות שאינן קשורות לטיפול של הבוצה בשפכי הרימונים ואל פרי הרימון באופן ישיר. למשל ייתכן שה-pH של הרימון פוגע בתפקוד הבוצה וניתן לטפל בזה ע"י ניטרול.

אין לנו הוכחה חד משמעית שהגורם הפוגע בבוצה הוא הפוליפנוול, זוהי הנחה המתבססת על תכונותיו האנטי-בקטרליות וריכוזו הגבוה בפרי הרימון בניגוד לפירות אחרים (10,11,12). ייתכן מאוד שגורם אחר שמצוי ברימון הוא שפוגע בבוצה. אם הדבר יתאפשר, כיוון נוסף למחקר המשך יכול להיות בידוד מרכיבי הרימון ובדיקה איזה מהם עלול לפגוע בבוצה.



## מסקנות:

1. לאורך כל הניסויים נראה שהבוצה מורידה את ריכוז החומרים האורגניים בשפכי הרימונים וכתוצאה מכך את צריכת החמצן הביולוגית שלהם.
2. הטיפול במכונת הפלפר מוריד את ה-BOD בשפכים אך גם את יעילות ניקויים ע"י הבוצה האנארובית.
3. יעילות הטיפול בשפכים שהוזרקה להם תמיסת סוכר בריכוז שהוצע בספרות גבוה יותר מיעילות הטיפול בשפכים שהוזרקה להם תמיסת סוכר בריכוז שהציע המפעל.
4. בריכוז סוכר נמוך מידי, יעילות הטיפול פחותה יותר, ככול הנראה משום שאין לבוצה מספיק אנרגיה לפעילות מיטבית.
5. (על פי ניסוי זה) לא מומלץ לשלב בין שיטת הסינון במכונת פלפר ושיטת הסינון בעלי דולב, שכן הן פוגעות אחת ביעילות השנייה.
6. אין לנו הוכחה חד משמעית שהגורם הפוגע בבוצה הוא הפוליפנוול, זוהי הנחה המתבססת על תכונותיו האנטי-בקטרליות וריכוזו הגבוה בפרי הרימון בניגוד לפירות אחרים.

## מגבלות מתודולוגיות:

לתוצאות ישנן מס' הסברים הקשורים לבעיות טכניות. סיבה אפשרית אחת היא חוסר דיוק במדידות ובבידוד המשתנים בניסוי (למשל כניסת חמצן לא רצויה למערכת, שינויי טמפ' ועוד...). השימוש בבוצה האנארובית זמן התבצע לראשונה בחממה האקולוגית בעבודה זו, ולכן נדרשה עבודת פיתוח ראשונית של ניסויים ושיטות להחזקת הבוצה לאורך זמן ובידוד המשתנים העלולים להשפיע את תוצאות הניסויים, למרות המאמצים הרבים המערכת אינה מושלמת וככול הנראה אינה הייתה מבודדת באופן מוחלט. גורמים אלו יכלו להביא לחוסר דיוק וטעויות בטיפול בבוצה. טעויות אלו יכולות להוות גם הן סיבה ל"חוסר הפגיעה בבוצה". לכן, בכל הניסויים יש לבחון את האופציה שהתוצאות מושפעות מגורמים אחרים. ייתכנו הבדלים ניכרים בין התוצאות שקיבלנו לבין המצב במתקן הטיפול האמיתי או תוצאות שיתקבלו בתנאים אופטימליים יותר.

בגלל הקשיים בטיפול בבוצה ייתכן מצב שהבוצה במחקר שלנו פגועה ללא קשר לחשיפה לשפכי רימונים ובגלל זה לא נראה שינוי בעקבות הפגיעה. כלומר, יכול להיות שבמפעל נראית פגיעה משום שהבוצה נמצאת בתפקוד גבוה ואילו מחקר שלנו תפקודה פגוע בעקבות טיפול לא אופטימלי ולכן הפגיעה אינה נראית בצורה מובהקת שכן יעילות הבוצה נמוכה מלכתחילה

סיבה נוספת שיכולה לגרום לתוצאות היא חשיפה קצרה מידי של הבוצה לשפכי רימונים, שכן במפעל היא חשופה אליהם במשך חודשים ובמחקר ביקשנו לראות תוצאות אחרי פרקי זמן של שבועות אחדים. כמו כן אפשרי שהחשיפה השנייה של השפכים לבוצה בניסויים 3-4, בהם נערכה חשיפה ארוכה לשפכים וחשיפה קצרה נוספת לאחר מכן לשפכים חדשים, לא הספיקה בכדי שהבוצה תנקה את החומרים האורגניים מהשפכים והירידה בצריכת החמצן נבעה מגורם אחר, לדוגמה שחמצן שנכנס בטעות למערכת הניסוי או פוטוסינטזה שהתבצעה בנוזלים ע"י אצות מיקרוסקופיות המצויות בו, בעקבות חשיפה לא רצויה לאור..

כמו כן שיטת המדידה שלנו, עלולה להימצא כלא מהימנה ומתבססת על ההנחה שבכל נוזל מצויים חיידקים, הצורכים את החמצן המומס בנוזל וניזונים מהחומרים האורגניים שהוא מכיל (15). אם הנוזל מכיל מעט חומרים אורגניים יש להניח שהחיידקים יעזבו אותו ויחפשו מקור אחר למזון, דבר שיגרום לצריכת חמצן נמוכה יותר בנוזל. שיטת המדידה שלנו מודדת את ריכוז החמצן (שמעיד על החיידקים שצרכו אותו ונמצאים בנוזל) כמדד לריכוז החומרים האורגניים באותו נוזל. ייתכן מצב בו לא נכנסו חיידקים לנוזל ולא נעשה שימוש בחמצן המומס שבו, למרות ריכוז החומרים האורגניים הגבוה שבו. במצב זה שיטת המדידה שלנו אינה יעילה ואין אנו יכולים לדעת את ריכוז החומרים האורגניים בנוזל.

## סיכום:

בעבודה זו ניסינו למנוע את פגיעתה של בוצה אנארובית, שהיא החלק הביולוגי במערכת טיהור שפכים תעשייתיים, ע"י שפכי רימונים המוזרמים אליה. לטענת מפעל פרימור, שפכי מיץ הרימונים פוגעים בתפקוד הבוצה וביעילות הניקוי של אותם שפכים. הרימון מכיל חומר שנקרא פוליפנול, הידוע בשל תכונותיו האנטי בקטריאליות, המזיקות לחיידקים. היות והבוצה האנארובית היא מקבץ חיידקים, הנחנו שהפוליפנול הוא גורם סביר לפגיעת הבוצה משפכי הרימונים במפעל.

לצורך הניסוי, קיבלנו מהמפעל שני סוגים של שפכי רימונים, אחד שעבר סינון במכונת הפלפר (מכונה המפרידה את שאריות הפרי מהנוזל ובכך מורידה את ריכוז החומרים האורגניים בו) ואחד שהגיע ישירות מהמפעל ולא עבר שום טיפול מקדים.

בכדי למנוע את הפגיעה חיפשנו דרכים להפריד את החומר שחשבנו שפוגע בבוצה משאר נוזל השפכים, בעזרת סינון מקדים של הנוזל. מצאנו בספרות שדרך אחת להפריד את הפוליפנול משפכי הרימונים היא באמצעות מסננת של פחם פעיל. היות והפחם הפעיל הוא חומר שהייצור והשינוע שלו מזהם, החלטנו לחפש תחליף אקולוגי לבעיית המפעל. בעקבות מחקר העוסק בדמיון המולקולרי בין הפחם הפעיל לבין עלה הדולב המיובש, שיערנו כי הוא יכול לטפל בשפכים באותה הדרך ולהפריד מהם את הפוליפנול.

בנינו מערכת ניסויים בה ניסינו להוכיח את פגיעת הבוצה ע"י שפכי הרימונים ולבדוק האם היא אינה נפגעת משפכים שעברו סינון מקדים ע"י עלי דולב. המערכת התבססה על מדידות של קצב צריכת החמצן בנוזל השפכים כמדד לריכוז החומרים האורגניים (BOD). במערכת הניסויים בדקנו את משך זמן חשיפת הבוצה לשפכי הרימונים שבו הבוצה נפגעת מהשפכים ויעילות טיפולה יורד, את השפעתם של ריכוזי סוכר שונים אליהם נחשפת הבוצה על תפקודה ויעילות טיפולה (בעקבות הבדלים שמצאנו בין ריכוז הסוכר שמומלצים בספרות לבין ריכוזי הסוכר שהמליץ לנו המפעל) ואת השפעתם של טיפולים מקדימים של שפכי הרימונים באמצעות מסננת עלבי דולב על פגיעת השפכים בבוצה וביעילות טיפולה.

בתוצאות הניסויים, בניגוד להשערתנו, לא מצאנו הוכחות מובהקות לפגיעה של הבוצה משפכי הרימונים, ולכן איננו יכולים להגיד בוודאות שאכן יש בעיה שמקורה בשפכים. ראינו מצבים בהם יעילות הבוצה גבוהה ונמוכה יותר, אולם בכל הניסויים לא נראה מצב בו הבוצה לא פירקה כלל חומרים אורגניים בשפכים. בעקבות הממצא, שאר תוצאות הניסוי עסקו ברמת יעילות הבוצה ולא ברמת פגיעתה. מצאנו גם שקצב צריכת החמצן נמוך יותר בשפכים שעברו פלפר וריכוז החומרים האורגניים בהם נמוך יותר. לעומת זאת נראה שהשפעת הבוצה על אותם שפכים ויעילות נקוייה נמוכים יותר מאשר השפעתה על שפכים שלא עברו טיפול בפלפר, ככול הנראה משום שריכוז החומרים הנמוך יותר משאיר לבוצה פחות "עבודת ניקוי". מצאנו גם שריכוזי הסוכר משפיעים על תפקוד הבוצה, ובריכוז המתאים היא פועלת בצורה המירבית, דבר שאישר את השערתנו שריכוזי הסוכר שקיבלנו מהמפעל שגויים ושיכול להיות שהשפיעו על פגיעת הבוצה. דבר נוסף שראינו היה עלייה מסויימת, אך לא מובהקת, ביעילות הבוצה על שפכים שלא עברו פלפר ועברו סינון ע"י עלי דולב וירידה מובהקת ביעילות הבוצה על שפכים שעברו פלפר ועברו סינון ע"י עלי דולב.

## ביבליוגרפיה

1. Industry and environmental protection. Online. Agouti. Available at:  
<http://www.agouti.co.il/issues/industry>  
Taken at 24.12.2015
2. Industrial sewage treatment. Online. Wikipedia. Available at:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial\\_wastewater\\_treatment](https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_wastewater_treatment)  
Taken at 3.1.2016
3. Activated sludge. Online. Wikipedia. Available at:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Activated\\_sludge](https://en.wikipedia.org/wiki/Activated_sludge)  
Taken at 7.1.2016
4. ארביב רועי (1999). שיטות טיהור שפכים. מים והשקיה. 393: 38-40.
5. פולקמן יאיר (1999). חידושים במכונת הטיפול בשפכים. מים והשקיה. 395: 25-35.
6. Seetha N, Bhargava R, & Kumar P (2010) Effect of organic shock loads on a two- stage activated sludge-biofilm reactor. Bioresource technology 101(9):3060-3066.
7. Hameed B & Rahman A (2008) Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon prepared from biomass material. Journal of Hazardous Materials 160(2):576-581.
8. Primor organic juices. Online. Primor. Available at:  
<http://www.primor.co.il>  
Taken at 10.1.2016
9. Punica Granatum. Online. Wikipedia. Available at:  
[https://eng.wikipedia.org/wiki/Punica\\_granatum](https://eng.wikipedia.org/wiki/Punica_granatum)  
Taken at 7.1.2016
10. Ferreira D (2007) Antioxidant, antimalarial and antimicrobial activities of tannin-rich fractions, ellagitannins and phenolic acids from Punica granatum L. L. Planta Med 73(5):461.
11. Lansky EP & Newman RA (2007) Punica granatum (pomegranate) and its potential for prevention and treatment of inflammation and cancer. Journal of ethnopharmacology 109(2):177-206.
12. Polyphenol. Online. Wikipedia. Available at:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Polyphenol>  
Taken at 20.12.2015
13. Aksu Z & Gönen F (2004) Biosorption of phenol by immobilized activated sludge in a continuous packed bed: prediction of breakthrough curves. Process Biochemistry 39(5):599-613.
14. Tahn TT, Wang YXX, & Li WBB (1996) Sorption of phenol from aqueous solutions and acid-base neutralization by decaying leaves of plane tree. Toxicological & Environmental Chemistry 56(1-4):161-169.  
Taken at 19.1.2017



חוזה חקלאית  
עין שמר



מועצה אזורית מנשה  
הקהילה בארץ



15. Pulper. Online. Wikipedia. Available at:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Pulper>

Taken at 15.1.2017

16. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.