

השוואה של יעילות הרחקת מיקרו-מזהמים אורגניים במערכת *MBR* לעומת *CAS-UF*

דו"ח מסכם לרשות המים בגין מלגה לאיל סהר (ס.ת. 85199401)

מגיש

איל סהר, היחידה להנדסה סביבתית, אוני' בן-גוריון בנגב

מנחים

פרופ' אשר ברנר

ד"ר רמי מסלם

יוני 2010

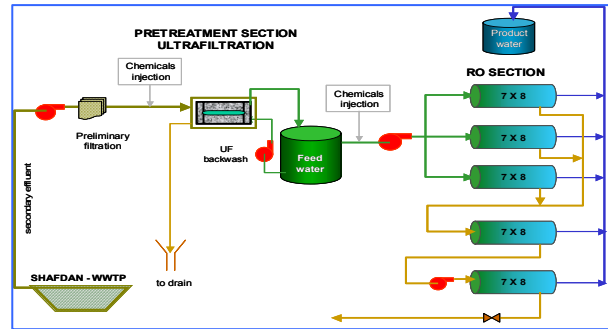
1. מבוא

מיקרו-מזהמים אורגניים (ממ"א), המכונים כך בשל תפוצתם בריכוזים נמוכים ביחס לריכוז החומר האורגני הנפוץ, הנם מולקולות אורגניות המיוצרות באופן טבעי או סינטטי, ובעלי פוטנציאל של הסבת נזק לבעלי החיים ולאדם. מסיבה זו, תופסים הממ"א בהדרגה מקום מרכזי בשאלת איכות מים ואיכות קולחים מתהליכי טיפול בשפכים. השפכים הנם מקור לפסולת המימית המרוכזת ביותר, ולכן הם מכילים גם את הריכוז הגבוה ביותר של ממ"א. סילוק שפכים לסביבה או שימוש חוזר בקולחים להשקיה, גורמים להסעת הממ"א היציבים יחסית מפני פירוק ביולוגי וכימי, למקורות מים עיליים ומי תהום, ומשם למערכות אורגניזמים שונים כולל בני האדם, במעגל סגור שריכוזי המזהמים בו הולכים ועולים. שיפור מתמיד במכשור אנליטי מתקדם עד לרמות ריכוזים של ננוגרמים לליטר, מאפשר הצגת תמונה מהימנה של הרכב הקולחים המטופלים העוזבים את מתקן הטיפול בשפכים (מט"ש). כמו כן, מתרבים גם הדיווחים על פגיעות במערכות פנימיות של בע"ח שנחשפו למקורות מים שמכילים ממ"א בריכוזים נמוכים יחסית. ישנה אי הסכמה לגבי פוטנציאל הנזק לבע"ח ולאדם הצורכים מים שמכילים ממ"א בטווח ריכוזים של עשרות, מאות ואלפי ננוגרמים לליטר. במחקר זה ההתמקדות הייתה באנטיביוטיקה, אשר מלבד פוטנציאל נזק מסוים לבע"ח ולאדם, הימצאותה בריכוזים נמוכים עלולה לגרום להיווצרות חיידקים עמידים, אשר יצריכו הגדלת מינונים ואף פיתוח של אנטיביוטיקה חדשה וחזקה יותר.

הקושי האנליטי בשל הריכוזים הנמוכים של הממ"א והרקע המורכב של השפכים הובילו לכך שמרבית העבודות בתחום זה נעשו בקולחים סינטטיים. בנוסף, ישנן עבודות שנערכו בתהליכים קונבנציונאליים, כגון: CAS (Conventional Activated Sludge), אשר אינן ניצבות כיום בקדמת הטכנולוגיה של הטיפול בשפכים, ומתוכן עולה כי יעילות הרחקת ממ"א מסוגים שונים משתנה בטווח רחב ובד"כ אינה מספקת. ישנה מגבלה מסוימת בהשוואת מידת הרחקת CAS ל MBR (Membrane Bio Reactor) כפי שמופיע במספר מאמרים, שכן האחרון כולל ממברנת UF (Ultrafiltration) בנוסף על הטיפול הממברני ולכן ישנו צורך להוסיף את שלב ה UF לאחר ה CAS. לאור כל זאת עלה הצורך בבחינת טיפולים ממברניים שונים במערכות טיפול בשפכים "אמיתיים" ומעקב אחרי המיקרו מזהמים האורגנים בתהליך זה.

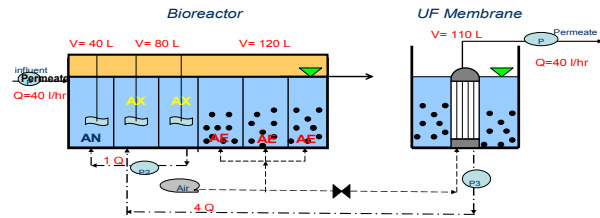
2. שיטות וחומרים

בעבודה זו נבחנו שני מתקני פיילוט – CAS/UF ו MBR המוזנים באותם שפכים גולמיים, שפועלים ונחקרים בשפד"ן לבחינת יעילות ההרחקה של מזהמים סטנדרטיים ומיקרו-מזהמים אורגניים. מערכת ה CAS/UF ($40 \text{ m}^3/\text{hr}$, 40 lmh) הינה חלק מפרויקט התפלת קולחים שניוניים, בעוד שה MBR (40 l/hr , 20 lmh) נבנה במיוחד עבור מחקר זה.



ציור 1 – סכימה של מתקן ה CAS-UF/RO וממברנות UF

MBR Process Overview



ציור 2 – סכימה ותמונה של מתקן ה MBR

בעבודה זו נבחנה הרחקה של שתי סוגי אנטיביוטיקה: האנטיביוטיקה המקרולידית ואנטיביוטיקה סולפון-אמידית. מערכת ה CAS/UF הופעלה ברציפות במשטר הפעלה קבוע, בעוד שב MBR הופעלה בשני משטרי הפעלה: בניית ביומסה בטווח של 2.8-10.4 gr/l והפעלה יציבה סביב 10 gr/l (MLSS (Mixed Liquor Suspended Sol

3. תוצאות עיקריות

בהתבסס על מעקב של 18 חודשים עולה כי בשלב בניית הביומסה ב MBR, מידת ההרחקה הממוצעת של האנטיביוטיקה המקרולידית (Erythromycin, Roxithromycin, Clarithromycin) הייתה גבוהה במערכת ה CAS/UF לעומת מערכת ה MBR בעוד שניכר מצב הפוך עבור אנטיביוטיקה סולפון-אמידית (הכוללת את החומרים: Sulfamethoxazole, Sulfamethazine, Trimethoprim), בו מידת הרחקה הממוצעת ב MBR הייתה גבוהה יותר מזו של מערכת ה CAS/UF. הסיבה לשונות בהרחקת שתי משפחות אנטיביוטיקה אלו טמונה ככל הנראה בתכונות המולקולריות השונות שלהן כמו משקל מולקולרי, הידרופוביות ופולריות. האנטיביוטיקה הסולפון-אמידית בעלת ערכי (Octanol Water partitioning coefficient) $\log Kow$ נמוכים יחסית (0.89-0.91), צפויה להיות מורחקת ע"י ספיגה ופרוק על ידי הביומסה. לעומתה, אנטיביוטיקה מקרולידית בעלת ה $\log Kow$ הגבוה יחסית (2.75-3.16), עשויה להיספח לפרקציה ההידרופובית של הבוצה.

נראה כי בשלב גידול הביומסה ב MBR, הפרש גיל הבוצה (SRT) בין ה CAS/UF ובין ה MBR (2.8 ימים לעומת גיל בוצה גבוה מאוד בהתאמה) הוביל להרחקה יעילה יחסית של הסולפון אמידים, משום שככל שגיל הבוצה גבוה יותר גדל הפוטנציאל של התפתחות אוכלוסיות חיידקים מגוונות ועמידות יותר, שחלקן מסוגלות לספוח או לפרק ממ"א קשי פירוק. **בשלב זה, ההערכה הייתה שמנגנון ההרחקה העיקרי של המקרולידים הוא ספיחה לבוצה, בעוד שעבור הסולפון-אמידים המנגנון השולט הוא פירוק ביולוגי.** התייצבות ה MBR בריכוז של כ-10 גרם/ליטר הביאה ליתרון של עד 30% בהרחקה של כל סוגי האנטיביוטיקה הנבדקים ביחס להרחקתן ב CAS/UF. ההנחה היא כי שיפור זה נבע, ככל הנראה, מעלייה ביכולת הספיחה ע"י הביומסה. בכדי לאמת השערה זו, נערכו מספר ניסויים מנתיים בריכוזים שונים של בוצת MBR, אליהם הוספה תמיסת אנטיביוטיקה בריכוז 10 µg/l, הגבוהה פי 50-10 מאלו שאותרו בשפכים. מידת הספיחה הייתה גבוהה מאוד עם הרחקת מקרולידים בשיעור של 86-95% והרחקת סולפון אמידים בשיעור של 82-95%. בנוסף, מדידת ריכוזי האנטיביוטיקה שנספחה לבוצת MBR ע"י מיצוי בעזרת מתאנול הראתה ריכוזים הדומים לאלו שנמדדו בשפכים. לאור כל זאת, **הוסק כי מנגנון הספיחה לבוצה הנו מנגנון עיקרי בהרחקת מיקרו-מזהמים אורגניים כדוגמת אנטיביוטיקה.** חיזוק לטענה זו ניכר גם בסינון ה UF לאחר CAS, אשר שיפר את ההרחקה ב 5-28% כנראה עקב ספיחה לביופילם שעל גבי הממברנה (שכן משך אינטרוול הסינון קצר, ואינו מאפשר פירוק ביולוגי). טווח ריכוזי המקרולידים ירד מ 385-3000 ng/l בהזנה, ל 50-1000 ng/l לאחר ה CAS/UF וה MBR. תוספת של התפלה ב RO לאחר שני המתקנים, הפחיתה את הריכוז לפחות מ-25 ng/l. טווח ריכוזי הסולפון אמידים ירד מ 50-1400 ng/l בהזנה, ל 5-400 ng/l לאחר ה CAS/UF וה MBR. לאחר סינון ב RO בשני המתקנים, הריכוז ירד מתחת ל-5 ng/l. בבדיקה של מזהמים נוספים (BPA, cholesterol, salicylic acid, diclofenac) נצפו הרחקות של 95% ו 99% ב CAS-UF/RO וב MBR/RO בהתאמה, עם ריכוזים נותרים של עשרות עד כ 220 ng/l עבור חלק מהחומרים. לכן, לא ניתן לומר ש RO יכול להוות חסם מוחלט למיקרו מזהמים אורגניים. אך נראה כי בכדי לעמוד בסטנדרטיים עתידיים לממ"א בקולחים ובמי השתייה (כפי שהמליצו ב European Medicine Agency - EMEA על ערך סף של 100 ng/l עבור תרופות במים עליים), אין מנוס משילוב תהליכי טיפול רביעוני בשפכים שעשויים לכלול שילוב של תהליכי חמצון מתקדמים, ספיחה על פחם פעיל, והתפלה בתהליך ממברני. ישנה חשיבות רבה בהמשך חקר מנגנוני הרחקת הממ"א (פירוק ביולוגי וספיחה לבוצה), על מנת להגביר את יעילות הרחקתם, ולהבין את הסיכונים הסביבתיים הפוטנציאליים במחזור קולחים להשקיה חקלאית ובוצה לקומפוסט.

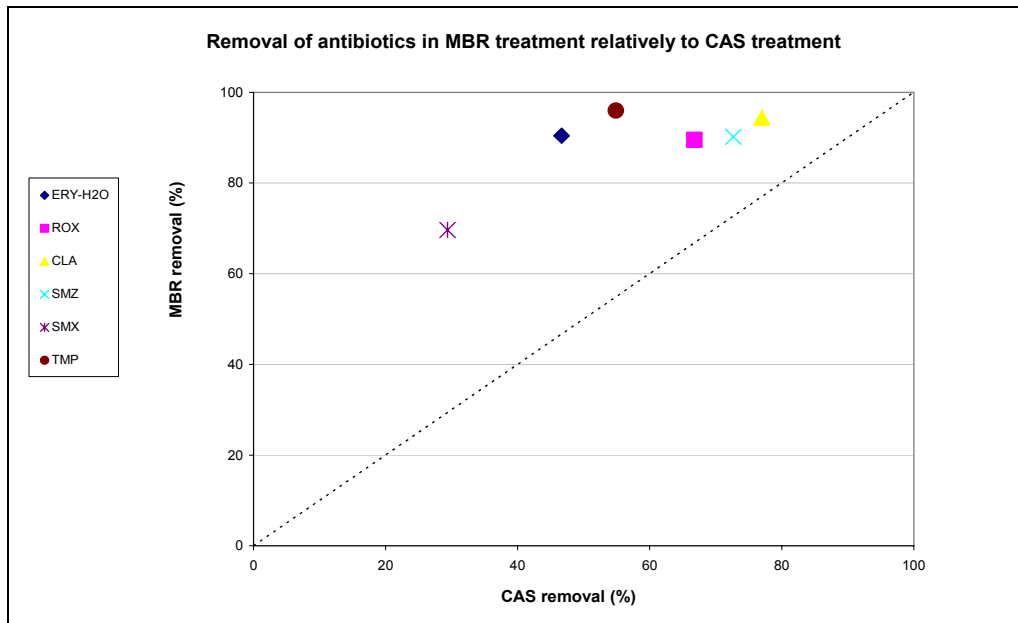
4. דיון

מחקר זה העלה מספר נקודות עקרוניות שנבחנו בקפידה ומסוכמות להלן.

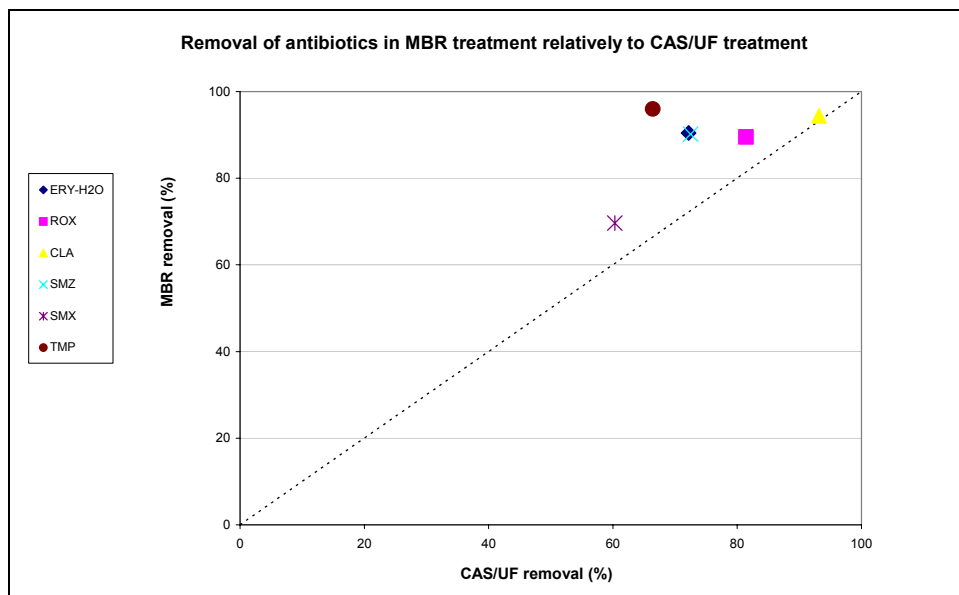
4.1 - האם MBR יעיל יותר מ CAS/UF בהרחקת אנטיביוטיקה וממ"א נוספים?

האנטיביוטיקה הנבדקת הורחקה טוב יותר ע"י MBR יחסית ל CAS בכ 40% עבור TMP, SMX, ו ERY-H2O, ובכ 15-20% עבור CLA, ROX, ו SMZ. יתרון ההרחקה של ה MBR הוא

פחות דומיננטי בהשוואה לתוספת UF לאחר ה CAS עקב שיפור בהרחקת המזהמים של עד 28%, כנראה בשל ספיחה לשכבת הביופילם שעל גבי סיבי הממברנה. בהשוואת ההרחקה עי"י CAS/UF ו MBR : CLA הורחק במידה זהה, ROX ו SMX הורחקו טוב יותר ב MBR באופן זניח (כ 9%) ו ERY-H2O, TMP, ו SMZ הורחקו ביעילות רבה יותר בשיעור של 12-25%. ניכר כי בהצמדות לשיטה הקיימת כיום (CAS) מידת הרחקת הממ"א נמוכה ב 15-40% יחסית לשילוב של UF לאחר ה CAS או הפעלת MBR.



ציר 3 – שיעור הרחקת אנטיביוטיקה ממוצע ב CAS וב MBR, n=6



ציר 4 – שיעור הרחקת אנטיביוטיקה ממוצע ב CAS/UF וב MBR, n=6

יש לזכור כי בשפד"ן, לאחר ה CAS ישנו חלחול דרך שכבות קרקע (SAT) אשר מידת הרחקת האנטיביוטיקה בה לא נבדקה. בסיכומו של דבר, מבחינת הפריקות הביולוגית, MBR לא אובחן

כתהליך יעיל יותר לעומת CAS (למרות הטענות המקובלות בספרות כי בריכוזי ביומסה גבוהים יותר וגיל בוצה גבוה יותר – כפי שמגלם ה-MBR – הוא צפוי להיות יעיל יותר). יתרונו של ה-MBR בא לידי ביטוי על פני ה-CAS בתוספת של ההפרדה הממברנית שמגדילה את יעילות ה-הרחקת הממ"א כנראה באמצעות חסימה מוגברת של עוגת הביומסה על פני הממברנה, וספיחה מתמשכת של הממ"א גם במסלול הסינון דרך עוגה זו. תוספת סינון ממברני (UF) לאחר CAS, הביאה לתוצאות ה-הרחקה דומות לאלו של ה-MBR, וחיזקה את מסקנת העבודה המרכזית כי הפרוק הביולוגי אינו מנגנון ההרחקה העיקרי של ממ"א (ראה סעיף 2 להלן). בעוד שמספר מולקולות אנטיביוטיות הורחקו ב MBR ביעילות גבוהה יותר של עד 20% יחסית ל CAS, תרופות אחרות, הורמון ותוצר תעשייתי הורחקו באופן דומה, ושתיים מהן אף עם יתרון של כ 20% ל CAS לעומת ה MBR.

4.2 - מהו מנגנון ההרחקה העיקרי ב MBR? האם זה אכן פרוק ביולוגי או ספיחה לבוצה?
מתקני הפיילוט מוקמו בשפד"ן (המט"ש הגדול ביותר לשפכים עירוניים), והופעלו ברציפות במשך כשנה וחצי. מתקן ה CAS/UF הופעל ביציבות בספיקה קבועה של כ 45 מ"ק לשעה (40 l/mh), בעוד שהפעלת מתקן ה MBR הופרדה לשתי תקופות: בניית ריכוז ביומסה מ 2.8 ועד 10.4 gr/l והפעלה יציבה סביב 10 gr/l (20 l/mh). בתקופת בניית הביומסה ב MBR ניכרה ה-הרחקה יעילה יותר לסולפון אמידים יחסית להרחקתם ב CAS/UF, ואילו עבור המקרולידים המצב היה הפוך, כלומר: ה-הרחקה יעילה יותר ב CAS/UF. ההנחה הייתה שההבדל נובע מהתכונות המולקולאריות השונות בין שתי משפחות אנטיביוטיקה אלו, כאשר האנטיביוטיקה הסולפון אמידית בעלת ערכי log Kow נמוכים יחסית (0.89-0.91), צפויה להיות מורחקת ע"י ספיחה ופרוק על ידי הבוצה. לעומתה, אנטיביוטיקה מקרולידית בעלת ה log Kow הגבוהה יחסית (-2.75-3.16), עשויה להיספח לפרקציה ההידרופובית של הבוצה. ככל הנראה, גם להפרש בגיל הבוצה (SRT) בין שני המתקנים הייתה השפעה משום שבגיל בוצה גבוה מאוד, כפי שהיה ב MBR, מתפתחות אוכלוסיות חיידקים מגוונות שחלקן מסוגלות לספוח ולפרק ממ"א קשי פירוק כדוגמת הסולפון אמידים (גיל הבוצה ב CAS/UF היה 2-3 ימים בלבד). תנודות במידת ה-הרחקת האנטיביוטיקה עם העלייה בריכוז הביומסה ב MBR העלתה תהיות לגבי ה-הרחקת מקרולידים ע"י ספיחה, שכן העלייה המשמעותית בריכוז הביומסה (פי 3) אמורה הייתה לשפר את מידת ה-הרחקה. לבחינת נושא זה נערכו מספר ניסויים מנתיים אשר הראו כי לא זו בלבד שהמקרולידים נספחו בשיעור של 91-97%, אלא גם הסולפון אמידים (אשר צפויים לעבור פירוק ביולוגי) נספחו בשיעור של 82-99%. ראוי לציין כי הניסויים המנתיים נערכו בריכוזים הגבוהים פי 10-50 מהריכוזים האופייניים בשפכים והסחרור היה אינסיבי (100 סל"ד) יחסית לערבול ב MBR. **אם כן, נראה כי פוטנציאל הספיחה הוא גבוה ויכול להוות את מנגנון ה-הרחקה העיקרי של שתי משפחות האנטיביוטיקה, ולכן נדרשים טיפול וסילוק זהיר של בוצת ה MBR אשר בה מצויים ריכוזים גבוהים של ממ"א ספוחים.** חיזוק לטענה זו נמצא ע"י ניסוי מנתי בו נערך מיצוי לבוצת MBR בעזרת מתאנול, ואכן אותרו המזהמים בריכוזים הקרובים לריכוזיהם בהזנה.

חיזוק נוסף לכך שמדובר בעיקר על הרחקה ע"י ספיחה, נמצא בבחינת התרומה של UF לאחר ה CAS שהייתה עד 28%, ומשום שתנאי ההפעלה מקשים על פירוק ביולוגי, ההנחה הייתה שהמזהמים נספחו לשכבת הביופילם שעל גבי סיבי הממברנה. ניתן להסביר את הפער בין הניסויים המנתיים להרחקה במתקן הפיילוט בכך, שהתנהגות האנטיביוטיקה בריכוזים נמוכים משתנה, בשל העלייה היחסית של ריכוז החומרים בנוזל הרקע, אשר חלקם נספחים לביומסה ומפחיתים מיכולתה לספוח אנטיביוטיקה מקרולידית המסוגלת להקשר ע"י אינטראקציות הידרופוביות של הקבוצות האליפטיות והארומטיות של המולקולה עם המקטע הליפופילי מתוך ממברנת התא של האורגניזם, או עם המקטע השומני של המוצקים המרחפים. לעומת זאת, האנטיביוטיקה הסולפון אמידית בעלת הפולריות הגבוהה יחסית נספחת ע"י היקשרות למקטעים הידרופיליים בתא החיידק.

4.3 - האם RO לאחר MBR ו CAS/UF יכול להיות חסם מוחלט למיקרו מזהמים אורגניים?

מנגנון ההרחקה ב RO שונה מהותית מאלו שבאים לידי ביטוי ב MBR וב CAS/UF, משום שבמקרה זה, ההפרדה מתבצעת באופן פיסיקוכימי (ללא חיידקים), ושלושה פרמטרים מכתבים את מידת ההרחקה: מאפייני הממברנה ופרמטרי התפעול, תכונות המולקולה ומאפייני נוזל הרקע. מאפייני המולקולה כוללים את משקל המולקולה, המבנה המרחבי שלה והפולריות שלה. מכיוון שהממברנה צפופה וטעונה שלילית, צפוי כי חומרים פולריים בעלי משקל מולקולרי גבוה יחסית יידחו או יימשכו לפני הממברנה וכך ימנע מעברם לתסנין. הוספת ה RO ל MBR שיפרה את הרחקת הסולפון אמידים מ 96-70% ל 97% ואת המקרולידים מ 90% ל 99%>. הוספת ה RO ל CAS/UF שיפרה את הרחקת הסולפון אמידים מ 73-60% ל 97-93% ואת המקרולידים מ 93-72% ל 99%>. טווח ריכוזי המקרולידים ירד מ 385-3000 ng/l בהזנה, ל 50-1000 ng/l לאחר ה CAS/UF וה MBR. תוספת RO לאחר שני המתקנים, הפחיתה את הריכוז לפחות מ 20 ng/l. טווח ריכוזי הסולפון אמידים ירד מ 1400-50 ng/l בהזנה, ל 400-5 ng/l לאחר ה CAS/UF וה MBR. לאחר סינון ב RO בשני המתקנים, הריכוז ירד מתחת ל 20 ng/l. על אף שמקרים רבים הריכוז הנותר לאחר ה RO היה מתחת לגבול הגילוי, לא ניתן לומר שהתסנין היה נקי מממ"א. לשם בדיקה וחיידוד נקודה זו נבדקו מספר ממ"א לא אנטיביוטיים (3 תרופות: ibuprofen, salicylic acid, diclofenac, הורמון טבעי: cholesterol ומוצר תעשייתי: bisphenol A). אמנם MBR/RO גרם להרחקה מלאה של החומרים הפולריים ibuprofen, diclofenac ו bisphenol A, אך בתסנין נותרו 100-223 ng/l של salicylic acid ו cholesterol בהתאמה. במתקן ה CAS-UF/RO נותרו חומרים רבים יותר, כאשר ibuprofen הורחק במלואו, אך salicylic acid ו diclofenac נותרו בריכוזים של 28-36 ng/l בהתאמה, ואילו BPA ו cholesterol נותרו בריכוזים של 116-119 ng/l בהתאמה. מסקנה זו מאמתת את התוצאות שהתקבלו עבור האנטיביוטיקה, על פיהן למרות השיפור הניכר בהרחקה, אותרו מולקולות אנטיביוטיקה בודדות בתסנין ה RO בשני המתקנים, ולכן לא ניתן לומר כי RO יכול להיות חסם מוחלט לממ"א. עם זאת, נראה כי בכדי לעמוד בסטנדרטיים עתידיים לממ"א בקולחים ובמי השתייה (כפי שהמליצו ב EMEA על

ערך סף של 100 ng/l עבור תרופות במים עליים), אין מנוס משילוב תהליכי טיפול רביעוני בשפכים שעשויים לכלול שילוב של תהליכי חמצון מתקדמים, ספיחה על פחם פעיל, והתפלה בתהליך ממברני.

4.4 - האם ישנה השפעה לשטף על מידת הרחקת האנטיביוטיקה?

לכאורה שינוי בשטף מתקני הפיילוט אמור להשפיע על מידת הרחקת האנטיביוטיקה, שכן השטף משפיע על עובי שכבת הביופילם בה מתבצעת הספיחה ב CAS/UF. בפועל, להעלאת השטף ישנה השפעה מנוגדת על עובי הביופילם, משום שמצד אחד העלאת הלחץ גורמת לדחיסה ולהקטנת עובי השכבה, ואילו מצד שני כמות המזון ליחידת זמן עולה, והשכבה מסוגלת לגדול ולהתרחב. לכן בשקלול הסופי כנראה אין התאמה בין העלייה בשטף למידת ההרחקה (כפי שאומת גם בניסויי המחקר), כלומר: לא ניכרת השפעה של השטף על הרחקת אנטיביוטיקה.

4.5 - האם מאפייני המזהמים כדוגמת $\log Kow$, pKa יכולים להוות מדד אמין למידת ההרחקה הצפויה ב MBR ו CAS/UF?

מקובל לסווג את מולקולות הממ"א השונות בהתאם לערכי ה $\log Kow$ וה pKa שלהן בכדי לאמוד את מידת ואופן הרחקתן. גישה זו מתבססת על ההנחה שניתן ללמוד על מאפייני המולקולה בתנאים אופטימליים ולהשליך מכך על התנהגותה במצבים אחרים. pKa הוא קבוע הדיסוציאציה, כלומר: ערכו מבטא את פוטנציאל התנתקות פרוטונים (H^+) מהמולקולה, בהופכה לטעונה. ככל שערך ה pKa נמוך יותר, כך גדלה מידת הדיסוציאציה אשר עשויה לסייע בספיחה ובפירוק ע"י הביומסה. $\log Kow$ מבטא מסיסות של מולקולה בממס לא פולרי (octanol) לעומת מסיסותה במים. ככל שהערך קטן יותר, המשמעות היא שהריכוז של המולקולה בפאזה המימית גדולה יותר ולכן המולקולה הידרופילית. לפי אותו עיקרון ניתן לצפות כי בערכי $\log Kow$ גבוהים המולקולה הינה הידרופובית (עבור $\log Kow > 3$) המולקולה נוטה להיספח למקטעים שומניים במנגנון של (bioaccumulation). ישנם מאמרים המראים קשר ישר בין פרמטרים אלו ומידת הרחקתם בקולחים סינטטיים. במחקר זה, בו נבדקו קולחים אמיתיים, לאחר בחינת מידת הרחקת כל המולקולות הנבדקות (ERY-H₂O, ROX, CLA, SMX,) מובהק ל pKa ול $\log Kow$ (וכן לפרמטרים נוספים כמו משקל מולקולרי ומסיסות). הדבר נובע, ככל הנראה, מריכוזים נמוכים של מזהמים אלו בתוך נוזל הרקע העמוס במגוון תרכובות אורגניות ואי אורגניות, הגורמות לשינויים תכופים בהתנהגות המולקולות באופן הקשה לחיזוי. נראה כי רצוי למצוא מדד שונה בכדי לאמוד הרחקת מזהם אורגני כלשהוא במהלך טיפול שפכים באמצעות מערכות MBR ו CAS/UF.

5. מסקנות

החידושים והמסקנות העיקריות העולים ממחקר זה הם:

- מחקר זה נערך במתקני טיפול המטפלים בשפכים "אמיתיים".

- יעילות הרכת אנטיביוטיקה ב MBR גבוהה ב 15-42% יחסית ליעילות הרכתה ב CAS.
- הוספת UF לאחר ה CAS מפחיתה את היעילות היחסית של ה MBR בהרכת אנטיביוטיקה, כך שערכה הוא עד 20%. בבדיקת ממ"א שאינם אנטיביוטיים נמדד יתרון דומה, אך לטובת ה CAS/UF במקרה זה. לכן ניתן לומר שיעילות הרכת ממ"א ב MBR ו CAS/UF הנה דומה ואין יתרון מוחלט למערכת אחת ביחס למערכת השנייה.
- נראה כי מנגנון ההרכה העיקרי הנו ספיחה לבוצה, אשר מידת יעילותו משתנה בהתאם להרכב השפכים, ריכוז המזהם והתכונות המולקולאריות האופייניות שלו .
- בהתחשב בהמלצות ה European Medicine Agency - EMEA, ניכר כי ישנו צורך בהוספת סינון נוסף ב RO (יש לשקול גם ליטוש סופי בפחם פעיל בשל ריכוזים של 28-223 ng/l של חומרים לא אנטיביוטיים שנבדקו).
- ראוי לציין שהתפלת שפכים, אשר תוביל לשיפור משמעותי בהרכת ממ"א תביא לשיפורים חשובים נוספים כמו: צמצום ניכר בהמלחת קרקעות ומי תהום בעקבות השקיה בקולחים, מניעת הפצת מחלות בבע"ח ובאדם, מניעת זיהום נחלים וחופי רחצה ועוד.