דו"ח סיכום פרוייקט: א'

מיקור המונים למידע על עכירות מים

Crowdsourcing Water Turbidity Information

מבצעים :

נתאי עוזר

איתי מאל

מנחה:

עדי וייניגר

סמסטר רישום:

חורף תשפ"ג

תאריך הגשה:

תודות

ראשית נרצה להודות למנחתנו דר' עדי וייניגר על ההנחיה הרבה והשוטפת שניתנה לאורך כל שלבי הפרוייקט. התובנות והעצות שנתת לנו עזרו לנו מאוד להתקדם עם הפרוייקט, להגיע לתוצאה שאנו יכולים להציג כאן בגאווה וכמובן גם תרמו רבות לידע האישי שלנו וגם ליעילותנו כעובדים בהמשך הדרך, אז תודה רבה מכל הלב 3>.

בנוסף, נרצה להודות למר עימנואל בוס, מרצה מאוניברסיטת מיין שבין היתר הנחה פרוייקט דומה לשלנו בעבר (The HydroColor App‎[1]) ונתן לנו גם כן המון מניסיונו.

תוכן עיניינים

רשימת איורים

רשימת טבלאות

רשימת קיצורים

NTU - Nephelometric Turbidity unit

LOS – Line Of Sight

RTE – Radiative Transfer Equation

רשימת סימונים

תקציר

עכירות המים היא אחד המדדים החשובים כיום למעקב אחר איכות של מים, עכירות גבוהה הינה אינדיקציה טובה להימצאותם של חלקיקים במים כגון משקעים, חומר אורגני או מזהמים‎ , אשר עלולים להיות מסוכנים לשתיה ולפגוע גם בדגים ובצמחיה החיים במקורות מים אלו, אך גם אם הם אינם מסוכנים כשלעצמם הם עדיין מגדילים את מקדמי הדעיכה של המים דבר שמקטין את כמות האור המגיע לצמחים ופיטופלנקטונים למען פוטוסינטזה ויכול לשבש את כל המאזן האקולוגי של מקור המים וגם לגרום להתפתחות של מחלות ‎. בנוסף, למעקב אחר עכירות מים יש שימושים נוספים לבניה מתחת למים, צלילה וכו'.

כיום, השיטה העיקרית למדידת עכירות מים היא על ידי מכשיר הנקרא נפלומטר המודד את רמת פיזור האור בדגימה של המים ביחידות של NTU. נפלומטרים הינם מדוייקים אך אינם זולים או קלים לתפעול ותחזוק ולכן אינם פתרון אפשרי למדידת עכירות מים במקומות מרוחקים ועניים שאינם בעולם המערבי. לאור בעיה זו, נציע למדוד עכירות מים בעזרת מצלמה של פלאפון נייד, שכיום יש כמעט בכל מקום, וערכת מטרות, שיהיו זולות וקלות ליצור, והנתונים של הבדיקה יעלו לענן למיקור המונים. אנו נראה בסימולציה כי אכן ניתן ליישם את הרעיון שלנו ונציע כיצד ניתן להתקדם בהמשך.

Abstract

1. מבוא

1.1 מטרת הפרויקט

מטרת הפרוייקט היא פיתוח אלגוריתם והתקן שבאמצעותם ובאמצעות טלפון נייד (עם מצלמה) ניתן לתת מדד כמותי לעכירות של גוף מים (ים, אגם, שלולית גדולה וכיו"ב(. נפעיל את האלגוריתם עם הערכה על תמונות סימולציה הקרובות למציאות ככל שניתן ובכך נראה את התכנות הרעיון שלנו.

1.2 מוטיבציה

מי שתיה ומעקב אחר מקורות מים אלו הם צורך חיוני עבור בני אדם מאז שחר האנושות. בגלל שינויים אקולוגיים וכתוצאה מבניה, שפוכת של מפעלים לנהרות וסיבות דומות, האיכות של מקורות מים אלו באיזורים שונים בעולם משתנה ובקצב מהיר, מדידה מהימנה של עכירות מים הינה בעלת חשיבות רבה ממספר סיבות:

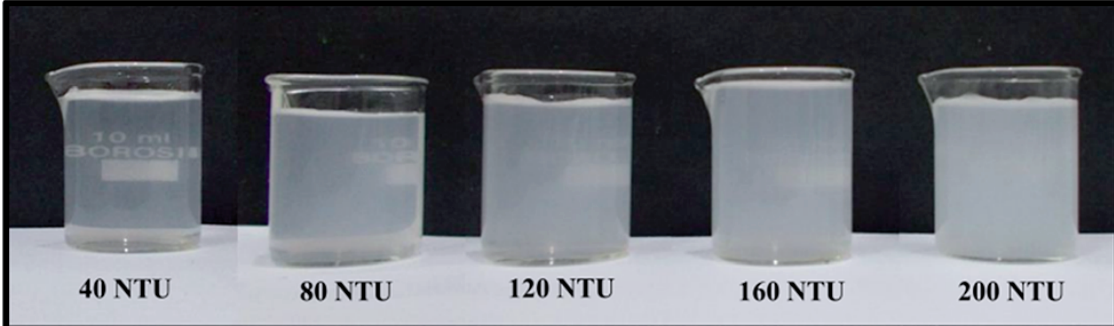
* הערכה של איכות המים: עכירות הינה אינדיקציה טובה להימצאותם ולהמשך מעקב וסיווג של חלקיקים במים כגון משקעים, חומר אורגני או מזהמים , אשר עלולים להיות מסוכנים לשתיה.
* פגיעה בסביבה: החלקיקים עלולים לפגוע גם בדגים ובצמחיה החיים במקורות מים אלו, אך גם אם הם אינם מסוכנים כשלעצמם הם עדיין מגדילים את מקדמי הדעיכה של המים דבר שמקטין את כמות האור המגיע לצמחים ופיטופלנקטונים למען פוטוסינטזה ויכולים לשבש את כל המאזן האקולוגי של מקור המים וגם לגרום להתפתחות של מחלות .
* טיפול במים לשתיה: עבור רמות שונות של עכירות נצטרך לבצע תהליכים שונים על מנת לנקות את המים לשתיה.
* בניה: בפרוייקטי בניה המים כמו סכרים וגשרים מים עכורים יכולים להשפיע על היכולת לבצע פעולות שונות ובדיקות שדורשות ראות טובה.
* ספורט ופנאי: מעקב אחר עכירות מים לצורך פעילויות צלילה וענפי ספורט ימי נוספים.

קיימות מגוון שיטות שונות למדוד את עכירות המים אך רובן כרוכות בשימוש בציוד מדידה יקר אשר אינו זמין לקהל הרחב ועל כן לא מתאימות לשימוש למיקור המונים. קיימות כיום גם שיטות בודדות שהינן זולות וזמינות אך רמת הדיוק שלהן יחסית נמוכה וחלקן מתבססות על מדדים סובייקטיבים (מערכת הראיה האנושית).

בפרוייקט זה נציע כלי זול, זמין ומהימן למדידת עכירות גופי מים, אשר ישמש לאיסוף מידע ושיתופו ע"י הציבור לגבי איכות המים ברחבי העולם.

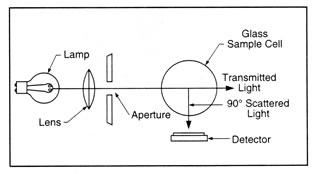
1.3 עכירות

עכירות הינה "ערפיליות" של נוזל הנגרמת כתוצאה מהמצאותם של מספר רב של חלקיקים בודדים שהינם בדרך כלל בלתי נראים לעין אשר גורמים לפיזור של האור העובר בנוזל.



איור 1 - דוגמה לרמות עכירות שונות במים לפי יחידות NTU ‎[4] .

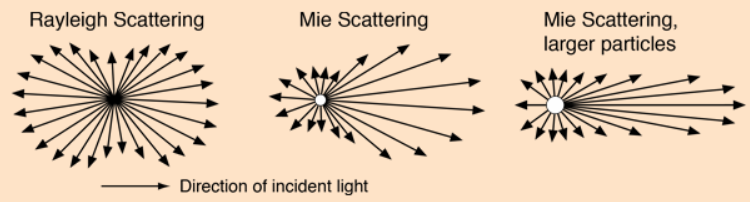
ישנם מספר הגדרות ליחידות מידה שבעזרתן ניתן לכמת עכירות, נהוג למדוד את מקדם הפיזור של החומר הנדגם על מנת לכמת באופן מספרי את עכירותו. אחת הדרכים המרכזיות למדידת עכירות מים היא על ידי מכשיר הנקרא נפלומטר (Nephelometer) אשר מעביר קרן אור דרך מבחנה עם דגימה של המים ומודד את כמות האור המתפזרת ממנה בכיוון המאונך להתקדמות הקרן, המכשיר מחזיר את התוצאה ביחידות NTU, כך ש- אלו מים ללא עכירות בכלל (בפועל ,לפי האיחוד האירופאי למשל, מים נקיים נחשבים להיות מתחת ל-) וככל שיש יותר פיזור כך ה-NTU עולה.



איור 2 – עקרון הפעולה של נפלומטר.

עכירות הנוזל מושפעת מהגורמים הפיזיקליים הבאים:

* צפיפות חלקיקים מפזרים: ריכוז החלקיקים של החומר המפזר המושהה בנוזל, נמדד ביחידות של .
* אופן הפיזור מהחלקיקים: נובע מהיחס בין גודל החלקיק המפזר לאורך הגל של האור המוקרן עליו, המודלים המקובלים בתחום הינם:
  + פיזור ריילי (Rayleigh scattering): המודל המתאר את הפיזור עבור חלקיקים הקטנים ביותר מפי 10 מאורך הגל של האור המוקרן עליהם. הפיזור הינו בעל צורה סימטרית בין האור המועבר עם כיוון הקרן הפוגעת לאור המוחזר לכיוון הנגדי.
  + פיזור מיי (Mie scattering): המודל המתאר את הפיזור עבור חלקיקים שבקירוב בגודל זהה לאורך הגל של האור המוקרן עליהם. הפיזור הינו בעל צורה א-סימטרית בעלת צפיפות גדולה יותר לכיוון ההתקדמות המקורי של הקרן.



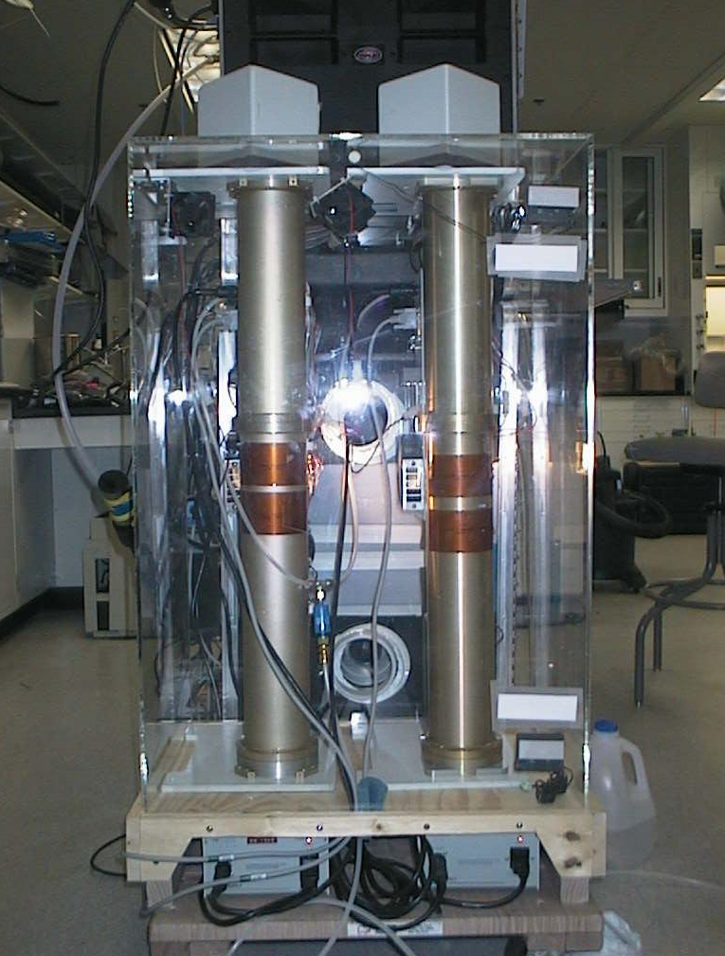
איור 3 – מודלי הפיזור ריילי לעומת מיי.

1. סקר סיפרות
   1. פתרונות קיימים
      1. נפלומטר

נפלומטר הינו מכשיר מדידה הכולל מקור אור וחיישן, המדידה נעשת על ידי השוואת עוצמת האור המפוזר לעוצמת האור המוקרן על דגימת מים הנמצאת בכוסית יעודית במכשיר.

נפלומטר הוא המכשיר הסטנדרטי למדידת עכירות על ידי מספר תקנים בינלאומיים מכיוון והוא המדוייק והאמין ביותר.

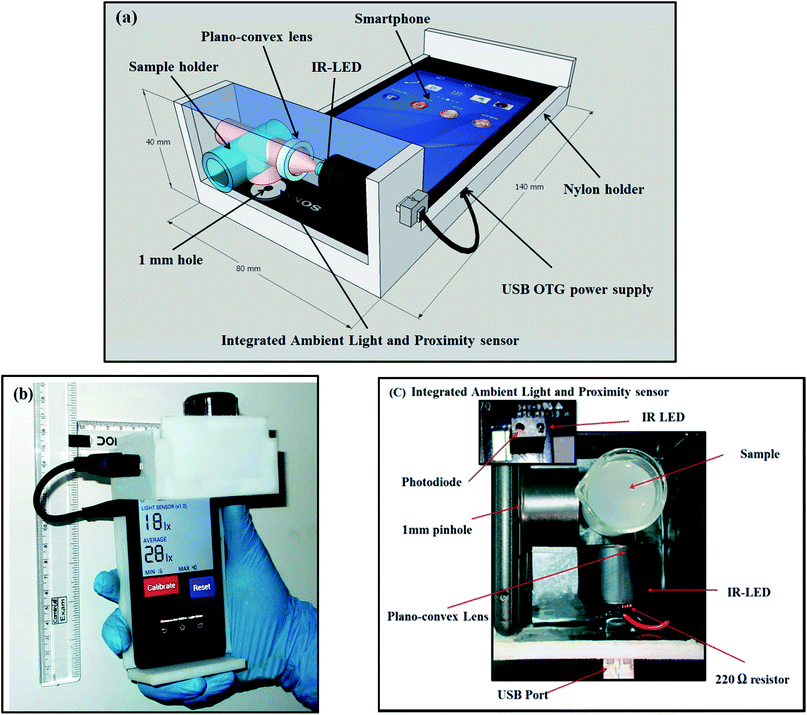
בשוק קיימים מגוון של נפלומטרים ברמות דיוק ועם מאפיינים שונים, החל ממכשירי מעבדה גדולים בעלי רמת דיק גבוהה במיוחד ועד מרשירים מדידה ניידים ופשוטים יחסית, אך על פי רוב זהו מכשיר יקר ונדרש ידע בהפעלתו ותחזוקתו.



איור 4 – נפלומטר נייד (ימין) נפלומטר לשימוש מעבדה (שמאל).

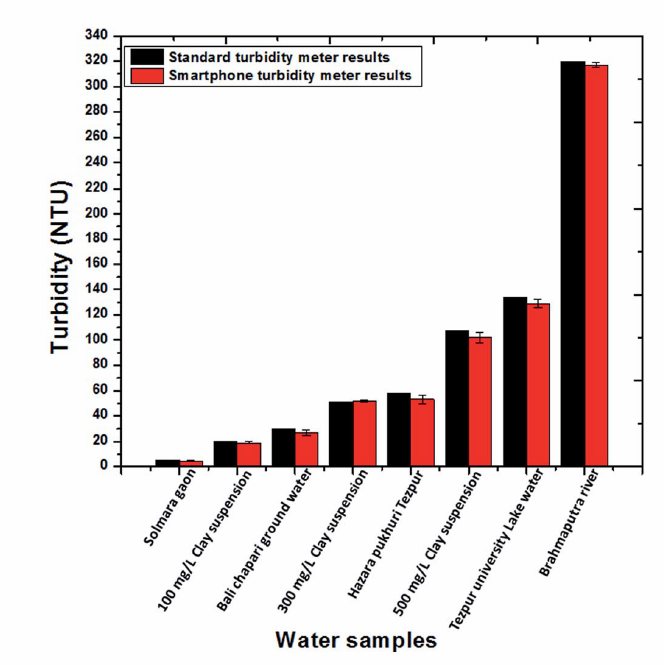
* + 1. התקני חומרה נלווים בשילוב טלפון נייד

התקן חומרה יחודי המתלבש על הטלפון הנייד בשילוב עם תוכנה הפועלת על הטלפון, מבצעת מדידה וחישוב של עכירות המים כאשר עיקרון הפעולה זהה לעיקרון הבסיסי של פעולת הנפלומטר.



איור 5 – ההתקן היחודי מולבש על טלפון נייד והסבר על הרכיבים השונים.

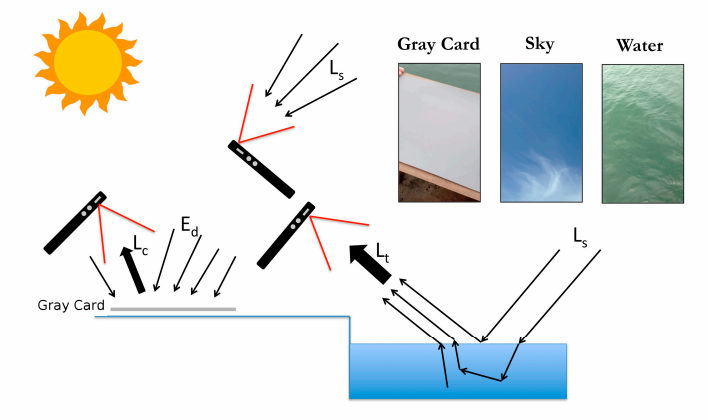
פתרון זה הוא אכן נייד, ובעל רמת דיוק גבוהה (כפי שניתן לראות באיור 6) עם זאת נדרשת חומרה יחודית שאינה מתאימה לכל מכשיר ולא בהכרח נמצאת בזמינות גבוהה ומחירה הוא באזור ה- לפי הערכה של כותבי המאמר.



איור 6 – השוואה בין ערכי העכירות ב-NTU המתקבלים מההתקן המוצע במאמר למכשיר מדידה תקני.

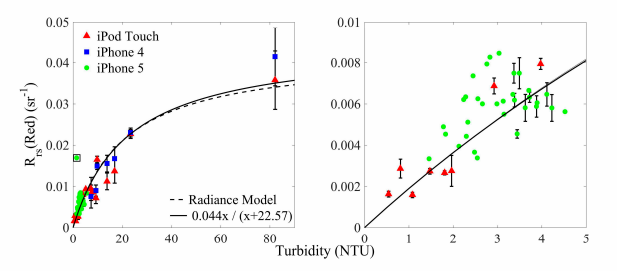
* + 1. אפליקציית

הידרוכולור הינה אפלקציית אנדרואיד לטלפון הנייד אשר משתמשת במצלמת הטלפון הנייד על מנת למדוד את העכירות של המים. זה נעשה על ידי לקיחת תמונות של כרטיס אפור לצורך כיול הצבע בתמונה, של השמיים ושל פני מקור המים ובעזרת נתונים אלו משוערכת עכירות המים.



איור 7 – אופן המדידה באפליקציית .

שיטה זו הינה זולה וזמינה מאוד, שכן צריך רק טלפון נייד בעל מצלמה וכרטיס אפור שהוא זמין בכל חנות צילום במחיר נמוך מאוד, אך היא משמעותית פחות מדוייק ביחס לשיטות הקודמות וגם מתאימה לשימוש בטווח ערכי קטן.

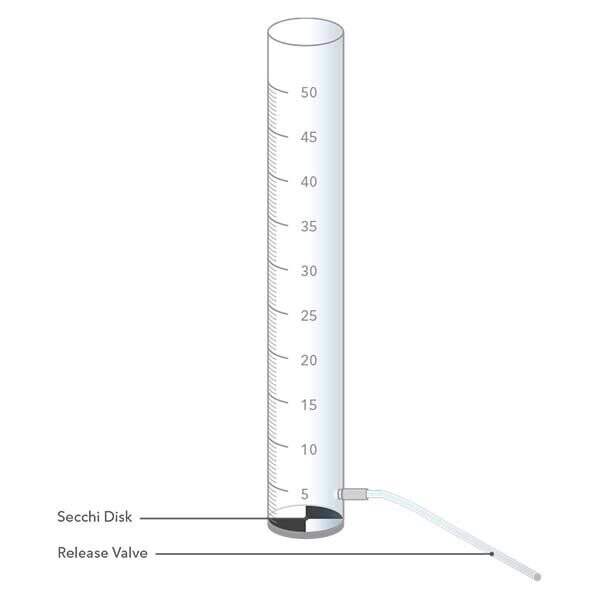


איור 8 – התאמה של מודל למדידות מהאפליקציה לערכי עכירות ההאמיתיים של המים שמהם נלקחו, הגרף הימני הוא תקריב לערכי העכירות הנמוכים בגרף משמאל.

* + 1. צינור שקיפות

צינור שקיפות (transparency tube) הינו צינור שקוף שבתחתיתו ישנה דיסקת סצ'י (Secchi disk), דיסקה המחולקת לשני רבעים לבנים ושני רבעים שחורים, ולאורך הצינור ישנן שנתות אשר מסמנות את הגובה מהתחתית.

מדידת העכירות על ידי צינור שקיפות מתבצעת כך: ממלאים את הצינור במים מהמקור אותו נרצה למדוד עד הסוף ומתחילים לרוקן את הצינור בעזרת השסתום בתחתית עד אשר מתחילים להבחין בדיסקה, בודקים מה הגובה אליו המים הגיעו בצינור ומשתמשים בטבלת ערכים המסופקת על ידי היצרן על מנת להמיר את הגובה של המים בצינור לערך של עכירות, ביחידות NTU.



איור 9 – שרטוט של צינור שקיפות בגובה של 50 ס"מ עם דיסקת סצ'י בתחתית.

המוצר הינו זול מאוד וקל לשימוש אך הוא מוגבל מאוד בערכי העכירות שהוא יכול לייצג, על מנת למדוד ערכי עכירות נמוכים נצטרך צינור גבוה מאוד. אך חסרונו העיקרי של צינור השקיפות הוא התבססותו על ראייתו של המשתמש על מנת לקבוע את העכירות ולכן אינו יכול לתת דיוק ברזולוציה גבוהה ואף עבור משתמשים שונים וגם אותו משתמש במדידות שונות נקבל ערכים מעט שונים, בנוסף גם בתנאיי תאורה שונים המים יראו למשתמש שקופים יותר או פחות ונקבל ערכי עכירות שונים ‎.

* 1. מושגים בסיסיים

לפני שנציג את הגישות האפשריות למדידת עכירות המים, נגדיר תחילה כמה מושגים על מנת לייצר שפה משותפת איתה נוכל לתאר את הגישות האפשריות ולהשוות ביניהן.

* + 1. מודל הווצרות תמונה כללית

עבור סצנה הנמצאת תחת הארה סביבתית בלבד, בכל פיקסל בתמונה נמדדת הארה . נסמן את ההארה נפלטת מאובייקט מסויים בקו הראיה של הפיקסל () כ-. נניח כי מקדם הדעיכה של התווך בו נלקחת התמונה הוא קבוע במרחב, אך עדיין יכול להשתנות בתדר , נסמנו והוא ביחידות של . לכן לפי חוק בר-למברט (Beer-Lambert), ההארה שנמדדת ב- הינה:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

הניחות של ההארה במעבר בתווך נגרם על ידי תופעות הפיזור והבליעה של האור, נמדל את השפעת התופעות הללו על ידי המקדמים מקדם הבליעה ו- מקדם הפיזור. מתקיים:

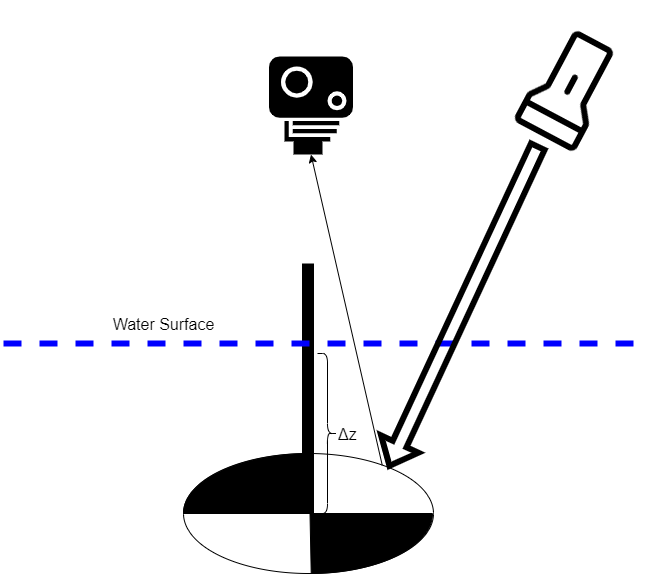
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

* 1. שיטות קיימות

נסתכל כעת על השיטות הקיימות למדידת מקדמי הדעיכה של המים בעזרת מצלמה ונדון ביתרונות וחסרונות של כל אחת על מנת לבחור את הפתרון הטוב ביותר עבור השימושים שלנו.

* + 1. דיסק סצ'י

בשיטה זו, דיסקת סצ'י (כמתואר ב-‏2.1.4) מורדת אנכית מפני גוף המים לעומקם עד כאשר הדיסקה מגיעה לנקודה בה לא ניתן להבחין בה יותר. כעת, נמדוד את העומק הנ"ל וממנו נחלץ את מקדם הניחות של המים , היכולת להפריד בשיטה זו בין המקדמים ו- הוא מוגבל.



איור 10 – סכמה של שיטת המדידה בעזרת דיסקת סצ'י כאשר הוא מרחק ההעלמות של הדיסק.

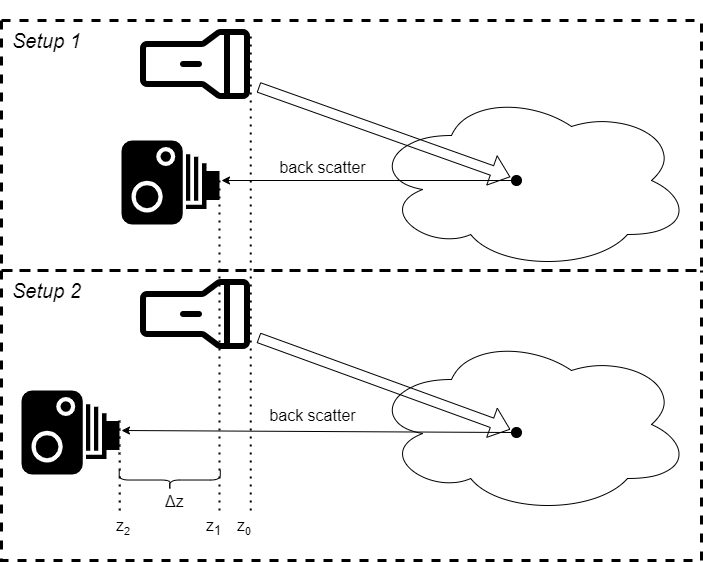
מהשיטה הזו, עבור מקדם ניחות קבוע לאורך , נקבל ממשוואה את מקדם הניחות:

כאשר היא ההארה שנמדדה מהדיסקה בגובה פני המים ו- היא ההארה שנמדדה מהדיסקה בעומק .

ההגבלה המרכזית של שיטה נובעת מכך שאנו מורידים את המטרה עד לעומק שהיא כמעט ולא נראת בו יותר ולכן נדרש שגוף המים יהיה עמוק מספיק.

* + 1. מדידת פיזור אחורי

בשיטה זו נעשה שימוש בתופעת הפיזור האחורי (back scatter) על מנת למדוד את מקדמי הניחות של התווך. מניחים כי המדידה נעשת ללא שום הארה פרט למקור אור כמתואר באיור, כלומר וכן כי אין אף אובייקט עם החזר לא זניח בטווח הראיה של המצלמה.



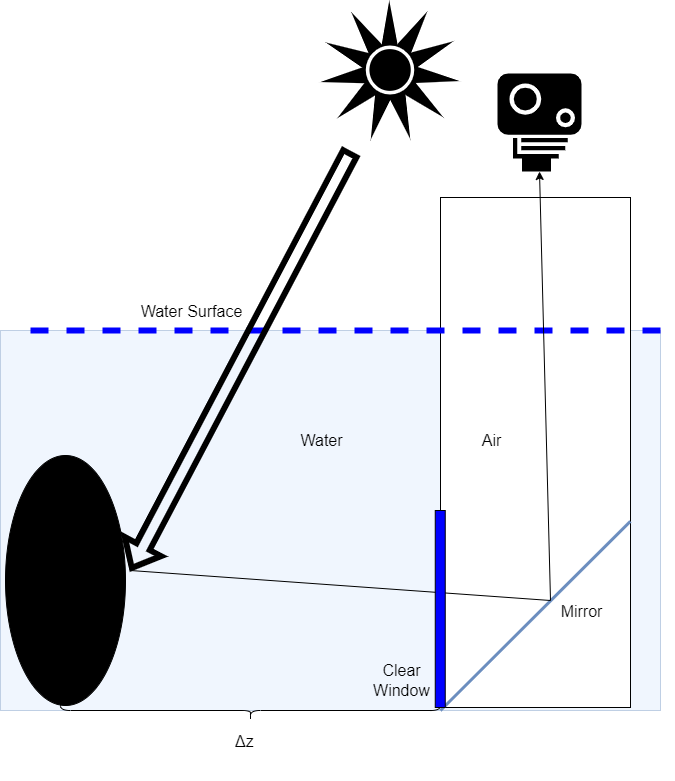
איור 11 – תיאור סכמטי של שיטת מדידת הפיזור האחורי.

נסמן את התמונה הנלקחת מהמצלמה ב- כ- ואת זו הנלקחת מהמצלמה ב- כ-. בשיטה זו ניקח שתי תמונות כאשר ההבדל היחידי הוא תזוזה של המצלמה ב- לכיוון הנגדי מכיוון הצילום, כך שמתקיים כי . ממשוואה נקבל כי:

ההגבלות של שיטה זו היא שעל מנת ונקלוט בכל תמונה את אך ורק את הפיזור האחורי של המים נדרש שגוף המים מספיק גדול ועמוק כך שלא נקבל אור ממקורות אחרים כמו תאורה טבעית מהשמש (או למדוד בלילה) והחזרים מהשפות, התחתית ועצמים אחרים בגוף המים.

* + 1. ניחות דיסק שחור

שיטה זו דומה באופייה לשיטת דיסקת הסצ'י אך מכיוון והדיסקה כולה שחורה אין תלות בזווית הדיסקה ביחס למקור האור או לזווית הצילום.



איור 12 – תיאור סכמטי של שיטת ניחות דיסק שחור.

קונטרסט או לא קונטרסט?

* + 1. שיפורים אפשריים לשיטות

ביבליוגרפיה

1. The HydroColor App: Above Water Measurements of Remote Sensing Reflectance and Turbidity Using a Smartphone Camera Thomas Leeuw and Emmanuel Boss.
2. TURBIDITY, SUSPENDED SEDIMENT, AN DWATER CLARITY: A REVIEW. R. J. Davies-Colley and D. G. Smith.
3. WATER QUALITY AND HEALTH - REVIEW OF TURBIDITY: Information for regulators and water suppliers.
4. Hussain, I., Ahamad, K., & Nath, P. (2016). Water turbidity sensing using a smartphone. Rsc Advances, 6(27), 22374-22382.
5. Dahlgren, Randy & Nieuwenhuyse, Erwin & Litton, Gary. (2004). Transparency tube provides reliable water-quality measurements. California Agriculture. 58. 149-153. 10.3733/ca.v058n03p149.
6. Guy Gilboa, et al. “In Situ Target-Less Calibration of Turbid Media” Proc. IEEE International Conference on Computational Photography 2017
7. Adi Vainiger, Yoav Y. Schechner, Tali Treibitz, Aviad Avni, and David S. Timor, "Optical wide-field tomography of sediment resuspension," Opt. Express 27, A766-A778 (2019)
8. Preisendorfer, Rudolph W., (1986), Secchi disk science: Visual optics of natural waters, Limnology and Oceanography, 5, doi: 10.4319/lo.1986.31.5.0909.
9. Davies-Colley, Robert J., (1988), Measuring water clarity with a black disk, Limnology and Oceanography, 33, doi: 10.4319/lo.1988.33.4.0616.