



מעבדה בנושא זיהום אוויר (גשם חומצי)

רקע תיאורטי

איכות מקורות האוויר, המים והאדמה של כדה"א, הוא נושא בעל חשיבות גדולה בעולם המודרני. ההתפתחות המואצת של התעשייה, שהחלה במאה התשע-עשרה, גורמת ליצירת בעיה חמורה של זיהום הסביבה, המשנה את האיזון האקולוגי על-פני כדה"א. סילוק פסולת תעשייתית בצורה ידידותית לסביבה, הוא אחד הנושאים החשובים ביותר המעסיקים את אנשי המדע כיום.

בעיה מרכזית היא שימור ההרכב של האטמוספירה. האטמוספירה היא מעטפת הגז המקיפה את כדה"א. היא מאפשרת קיום חיים על פני כדה"א ומגינה עליהם, ע"י ייצוב הטמפרטורה וההגנה מפני הקרינה האולטרא סגולה של השמש. שכבת האוויר המגיעה עד לכדה"א ובה אנו חיים, היא הטרופוספירה, המורכבת מ- 78% N₂, 21% O₂, 0.03% CO₂ ומחלקי אחוזים של גזים נוספים. באופן מפתיע, דווקא הגזים הנוספים, המופיעים באטמוספירה בכמויות יחסיות קטנות, הם אלה שקובעים את איכות האוויר שאנו נושמים.

זיהום האוויר מהווה בעיה בריאותית מיידית באזורים מתועשים ובערים הגדולות. צפיפות מפעלי תעשייה וכלי-רכב בכבישים, בהם תהליכי בעירה משמשים כמקור אנרגיה עיקרי, גורמת לפליטת מזהמים שונים לאוויר, ולירידה באיכותו. ריכוזי המזהמים מנוטרים באופן קבוע ע"י תחנות המפוזרות בערים הגדולות, והם מבוטאים במונחים של חלקים במיליון (בדומה לכך שאחוזים מבטאים חלקים במאה). מזהמי האוויר העיקריים נחלקים לשני סוגים: תוצרי בעירה לא מלאה ותחמוצות שונות.

תוצרי בעירה

איכות האוויר מושפעת מתהליכי בעירה של דלקים פחמימניים (כמו גז טבעי, נפט, דלק וסולר), המשמשים לייצור אנרגיה בתעשייה ובאופן פרטי. תהליך בעירה הוא תהליך שבו תרכובת פחמן כלשהיא, לדוגמא אתאן, C₂H₆, מגיבה עם חמצן (O₂) ליצירת אנרגיית חום (Δ), דו-תחמוצת הפחמן (CO₂) ומים (H₂O):



משוואה 1 תהליך של שריפה מלאה

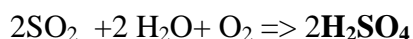
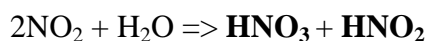
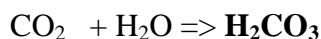
תהליך בעירה המוכר לנו מחיי היום-יום, הוא למשל שריפה של עץ. העץ עשוי פחמימנים שונים ובשריפה מלאה, התוצרים היחידים שמתקבלים, הם אלה המתוארים במשוואה 1. בתהליך של בעירה לא מלאה, לעומת זאת, לא מספיק חמצן מגיע לאזור השריפה. כתוצאה מכך, חלק ממולקולות הדלק



מגיבות ביחס לא סטויכיומטרי עם מולקולות החמצן ומתקבלים תוצרי לוואי, שהם פחמימנים שונים, גז CO וחלקיקי פיח. ריכוזיהם הסופיים תלויים בכמות החמצן ההתחלתית. חומרים אלה פוגעים באיכות האוויר ומזהמים אותו.

תחמוצות חומצות ו-pH

תחמוצות הן תרכובות המתקבלות מתגובתם של יסודות שונים עם חמצן. דוגמאות מוכרות לתחמוצות הן החלודה (Fe_2O_3), שהיא תחמוצת של ברזל והגז CO_2 , שהוא תחמוצת של היסוד פחמן. התחמוצות: CO_2 , NO_2 וכן SO_2 משתחררות לאטמוספירה בתהליכים תעשייתיים ובשריפת דלקים ואינן פוגעות רק באיכות האוויר, אלא גם באיכות המשקעים, הנוצרים בגובה רב. תחמוצות אלה מגיבות עם מים אטמוספיריים, לקבלת תרכובות חדשות:



המשותף לתרכובות אלה הוא שהן כולם **חומצות**. ההגדרה של חומצות, כפי שנוסחה ע"י ברונסטד ולאורי בראשית המאה ה-20 היתה, שהן חומרים כימיים המוסרים יוני מימן. מאז ההגדרה הורחבה וכוללת גם חומרים נוספים, אך עבור התרכובות המופיעות למעלה, ניתן להסתפק בהגדרה זו.

החומצות קיבלו את שמן מהטעם ה"חמוץ" שמאפיין חומרים שונים, שזוהו כחומצות. חומצות המוכרות לנו מחיי היום-יום הן חומצת החומץ, חומצת לימון, חומצה אסקורבית - ויטמין C, חומצה פוספורית בקולה וחומצה סליצילית, שנמצאת באספירין. חומצה נוספת היא חומצה הידרוכלורית, או חומצת מלח, הנמצאת בריכוזים נמוכים מאד בקיבה ומסייעת בעיכול המזון. המדד שבו אנו משתמשים לסיווג חומרים לפי חומציותם הוא ה-pH. זהו סולם שערכיו נעים בין 0-14 כאשר ככל שהערך נמוך יותר, כך חומציות התמיסה גדלה.

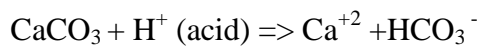
גשם חומצי

מי-גשם נקיים כמעט שאינם חומציים וכמעט שאין להם טעם, בדומה למי-ברז. המסת מזהמים במים האטמוספיריים, גורמת לכך שהמים יהיו חומציים. טעמם יכול להיות חמוץ אפילו כמו זה של חומץ לבישול או לימון!!

לשינוי חומציות המים, ישנה השפעה רבה על הסביבה: בע"ח, צמחיה וגיאולוגיה, ולכן זוהי בעיה אקולוגית חשובה. במקום שבו יורד **גשם חומצי**, חומציות המים באדמה, בנהרות ובאגמים עולה.



האיזון הטבעי מופר והנזקים גדולים: יערות מתייבשים ומתים בגלל שטיפת מלחים חיוניים במי הגשם החומציים ובתי-הגידול של יצורי מים נהרסים, כתוצאה מהעלייה בחומציות המים באגמים ושחרור יוני אלומיניום רעילים מתרכובות באדמה. גם האדמה משנה את הרכבה הכימי. אבני גיר, וכל מה שעשוי מחומר זה (CaCO_3), מומס ע"י החומצה:



תהליך זה גורם לבלאי מוגבר גם של מעשה ידי האדם. החומציות פוגעת בבניינים, בפסלים, ואף בפח של מכוניות. הסכנה לאנושות ולבע"ח היא דרך הפגיעה במערכת הנשימה.

מילון מושגים

אינדיקטור – חומרים המשנים את תכונותיהם (למשל, צבעם), בעקבות חשיפה לחומרים מסויימים.

בעירה – תגובה של פחמימנים עם חמצן ליצירת פחמן-דו-חמצני, אדי מים וחום.

בעירה לא מלאה – בעירה שבה אין מספיק חמצן כדי לשרוף את כל הפחמימנים. בבעירה לא מלאה, מתקבלים תוצרים רעילים בנוסף לאלה המתקבלים בבעירה מלאה.

גשם חומצי – גשם הנוצר באזורים בהם קיימות תחמוצות גופרית באטמוספירה המגיבות עם המים ליצירת חומצות ומורידות את ערך ה-pH שלהם.

חומצות – חומרים כימיים המכילים אטומי מימן.

פחמימנים – תרכובות הבנויות משרשראות של אטומי פחמן ומימן. משמשים כחומרי דלק.

תחמוצות – תרכובות המכילות חמצן ויסוד נוסף, ביחסים סטויכיומטריים שונים.

pH – מדד לחומציות של חומרים, שערכו נע בין 1 ל-14. ככל שה-pH נמוך יותר, החומר חומצי יותר.



מהלך ניסוי

חלק I שלב טרום חקר, ניסוי מאשר

1. מבחן נשיפה

בידכם כוס עם תמיסה כחולה. נישפו בעדינות דרך התמיסה בעזרת הקש שבידיכם, במשך כחמש דקות. עיקבו אחר המתרחש ורישמו את תצפיותיכם.

בעזרת המדריך, בעבעו CO_2 לתוך כוס כימית עם מי-כרוב ועקבו אחר שינוי הצבע.

מה קרה? מהו לדעתכם הקשר בין התופעות?

2. בעירה של אתנול

כלים וחומרים

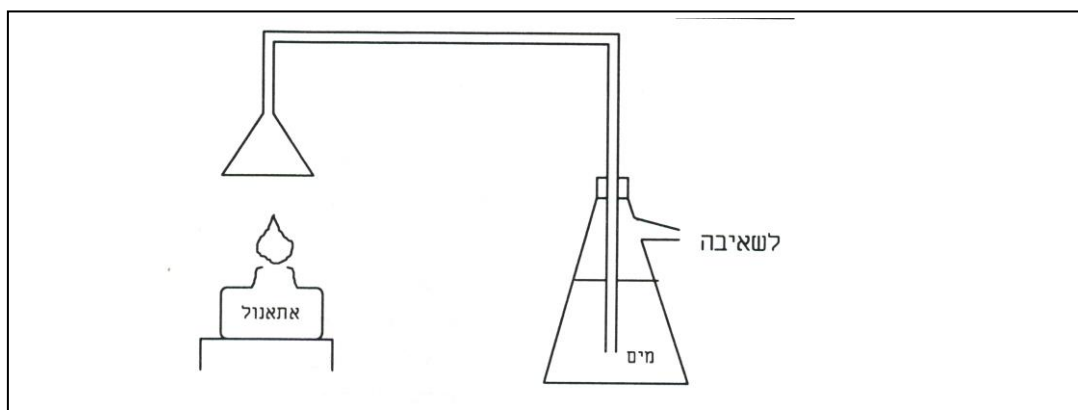
משורה של 100 מ"ל

בקבוק יניקה של 250 מ"ל

כוהלית עם אתנול

תמיסה כחולה של מי כרוב בבקבוקון

מידדו 100 מ"ל של מים מזוקקים בתוך משורה. מיזגו לבקבוק היניקה, והוסיפו כמחצית מתמיסת מי הכרוב, עד לקבלת צבע כחול. חברו את המערכת כמתואר בשרטוט I.



שרטוט I – מערכת לבעירת אתנול



חברו את בקבוק היניקה בעזרת צינור גומי אל משאבת וואקום.

הפעילו את השאיבה.

הדליקו את הכהלית, ועקבו אחר שינוי הצבע המתרחש בבקבוק היניקה. **זהירות! צינור המתכת חם!**

השוו את צבע התמיסה לזו שבבבוקון, וכבו את הכוהלית מיד עם שינוי הצבע.

רישמו את תצפיותיכם.

חלק II

מיון חומרים

בחלק זה של הניסוי נשתמש בשני אינדיקטורים לחומציות: נייר הלקמוס, ותמיסת מי-כרוב.

לפניכם מספר חומרים המצויים בכל בית. טפטפו אותם, בעזרת פיפטות נקיות על פיסת אינדיקטור נייר הלקמוס, וקבעו

האם החומרים חומציים (אדום) או לא (כחול). לתמיסות החומץ והסודה לשתייה טפטפו מעט מי-כרוב, וציינו את צבע

התמיסות.

חומר	נייר אינדיקטור	חומצי/ לא חומצי
חומץ		
סודה לשתייה*		
ויטמין C*		
רוק		
רוק עם מסטיק		
מי-כרוב		
מי-כרוב + חומץ		
מי-כרוב + סודה		

* יש להמיס קודם בקצת מים

צבע מי-כרוב: _____

צבע חומץ עם מי-כרוב _____

צבע סודה לשתייה עם מי-כרוב _____



שאלות לעבודה בקבוצות (5-6 תלמידים)

1. לפי איזו תכונה מיינתם את החומרים?

2. מה גרם לשינוי הצבע בתמיסת מי-הכרוב בחלק הראשון של הניסוי?

3. רשמו את התגובה בין CO_2 למים

4. מדוע לדעתכם קולה מזיקה לשיניים?

5. מה חשיבות של מסטיק (ללא סוכר) לשמירה על בריאות השיניים?

6. מדוע לדעתכם משתמשים בויטמין C כחומר משמר?

ב. גשם חומצי

בדקו את מי האידיקטור שבתוך בקבוק היניקה מהניסוי הקודם (שרפת אתנול) רשמו את שינוי הצבע שהתרחש, והעריכו את הערך המספרי מתוך הטבלה שהכנתם בסעיף הקודם.

צבע	ערך pH	ערך מדוד
לפני		
אחרי		

מה קרה לחומציות התמיסה בעקבות תהליך הבעירה?

טפטפו על אבן מעט מהתמיסה שהתקבלה. מה קורה?

2. בעירת תרכובת הגופרית (הדגמה ע"י מדריך אחד לכל הכיתה!)

חזרו על סעיף 1 בעזרת תרכובת הגופרית, במקום האתנול. רשמו את תוצאותיכם בטבלה. כבו את הכוהלית **מיד עם שינוי הצבע** בתום 2.5 דקות.

צבע	ערך מספרי
לפני	
אחרי	

טפטפו מעט מהתוצר שהתקבל על אבן. מה קרה?



שאלות

- א. באיזה תהליך התקבל התוצר היותר חומצי?
 ב. מהו תוצר הבעירה המתקבל בחלק 2 של הניסוי?
 ג. רשום את תהליך תגובת התוצר במים
 ד. איזה ניסוי מדמה יצירת גשם חומצי?
 ה. מה ניתן ללמוד מכך על הנזקים שהוא גורם?

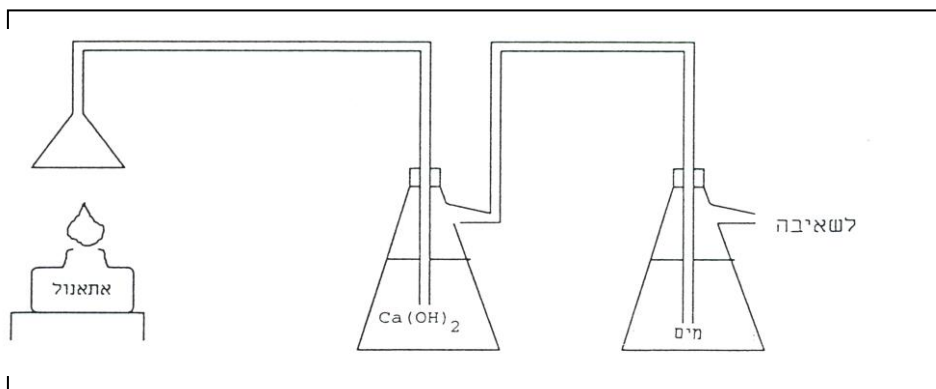
3. בעירת תרכובות גופרית דרך מלכודת Ca(OH)_2
 בתעשייה פותרים את בעיית שחרור הגזים הרעילים ע"י ניטרול החומצות בעזרת מלכודת של Ca(OH)_2 .

הכנת המלכודת:

הכניסו למלכודת הגזים כפית של Ca(OH)_2 .
 הוסיפו כ-100 מ"ל מים וערבבו מעט.

הרכיבו את המערכת המתוארת בשרטוט II.

הבעירו מחדש את הכוהלית עם הכהל המזוהם ללא יותר מ-2.5 דקות.



אתאנול עם תרכובת גופרית

מלכודת

שרטוט II- מערכת בעירה עם מלכודת Ca(OH)_2

מהי חומציות התמיסה המתקבלת לאחר הוספת המלכודת?

השוו את צבע התמיסה לזה שהתקבל מבעירת האתנול. האם לדעתכם שיטה זו עשויה לפתור ביעילות את הבעיה של

חומציות הגשם?

הבעיה של הגשם החומצי היא בעיה חובקת עולם, וישנן ארצות הסובלות מאד מבעיה זו לדוגמא סקנדינביה, ארה"ב, ואוסטרליה. בישראל, התופעה של גשם חומצי קיימת בעיקר באזור בתי הזיקוק בחיפה.



שלב ב : מהלך החקר

1. שאילת שאלות והשערה:

- א. נסחו לפחות 3 שאלות רלוונטיות ומגוונות שמתעוררות בעקבות הניסוי שביצעתם.
 - ב. בחרו שאלה אחת מהשאלות שהעליתם ונסחו אותה כשאלת חקר - יש להגדיר בשאלה את המשתנה התלוי ואת המשתנה הבלתי תלוי.
 - ג. נסחו השערה המתייחסת לשאלה שבחרתם - על הניסוח להיות בהיר ועניני.
 - ד. נמקו את השערתכם באופן מעמיק על בסיס ידע מדעי רלוונטי ונכון.
2. תכנון הניסוי לבדיקת ההשערה:
- א. הגדירו את דרך מדידתם של המשתנה התלוי ושל המשתנה הבלתי תלוי.
 - ב. הגדירו את הבקרה שמתאימה לניסוי זה.
 - ג. ציינו את הגורמים הקבועים בניסוי.
 - ד. הציגו את כל שלבי/מהלך הניסוי, בצורה מפורטת ובסדר לוגי (הניסוי צריך לכלול 4 מערכות לפחות כולל הבקרה).
 - ה. הכינו רשימה מפורטת של חומרים וציוד הדרושים לביצוע הניסוי המתוכנן.
- ו. מלאו את דף תכנון הניסוי והזמנת חומרים בכתב קריא. טופס זה יוגש ללברנטית וגם ינחה אתכם בניסוי.
- ז. מסרו ללברנטית את רשימת החומרים והציוד.
3. ביצוע הניסוי והסקת מסקנות:
- א. בצעו את הניסוי שהצעתם
 - ב. הציגו את התצפיות ואת התוצאות בצורה מאורגנת (טבלה, תרשים, טבלה+גרף ועוד).
 - ג. תארו את מגמת השינויים המוצגים בתרשים, בטבלה או בגרף.
 - ד. הסבירו את התוצאות על בסיס ידע מדעי רלוונטי ונכון. במידה הצורך היעזרו בספר הלימוד או במקורות אחרים.
 - ה. הסיקו מסקנות רבות ככל האפשר על סמך כל תוצאות הניסוי.
 - ו. התייחסו למידת התמיכה של המסקנות בהשערה.
4. עריכת דיון קבוצתי מסכם:
- א. התייחסו בביקורתיות לתוצאות הניסוי (מבחינת דיוק המדידות, מגבלות הניסוי ועוד).
 - ב. התייחסו בביקורתיות לתוקף המסקנות (התייחסו למידת ההשפעה של תכנון הניסוי ו/או ביצוע הניסוי על המסקנות).
 - ג. במידת הצורך הצביעו על השינויים הרצויים בתהליך החקר (בניסוח ההשערה, בתכנון הניסוי וכו')
 - ד. נסחו שאלה או שאלות נוספות שהתעוררו בעקבות הניסוי כולו.



- ה. הכינו את סיכום ניסוי החקר של קבוצתכם להצגה בפני הכיתה.
- ו. בדיון הכיתתי המסכם – התייחסו לניסוי לאור הדיווחים של הקבוצות האחרות.
5. כתיבת דו"ח המעבדה:
- א. הכינו דוח בכתב, הכולל את כל שלבי הפעילות ואת הרקע המדעי המתאים. אם חסר לכם מידע חפשו במקורות מידע והוסיפו את הרשימה הביבליוגרפית.
- הגישו בזמן - דו"ח מאורגן, אסתטי וקריא – השתמשו בשפה מדעית מדויקת ובעברית תקנית.