



# הפלרה, שיניים ומה בין השתיים?

אורית וינשטוק ושלומית וינטר\*

## פלואור ופלואוריד

פלואור הוא יסוד כימי ממשפחת ההלוגנים. הוא הקל שבהלוגנים והוא אחד מהיסודות הכימיים הראקטיביים ביותר. סמלו הכימי F ומספרו האטומי 9. הפלואור מצוי במצב של גז בטמפרטורה של 25 מעלות צלזיוס; צבעו צהוב בהיר והוא בעל ריח חריף. מולקולת הפלואור מורכבת משני אטומי פלואור הקשורים ביניהם בקשר קוולנטי יחיד (F-F) ומסומלת כ- $F_2$ . הפלואור אינו נפוץ בצורה זו בטבע, הוא פעיל ביותר ומגיב בקלות עם חומרים אחרים. זהו אחד היסודות הבודדים היוצרים תרכובות עם גזים אצילים. הפלואור הוא היסוד האלקטרושלילי ביותר, ולכן יש לו נטייה חזקה לרכוש מטען שלילי וליצור יוני  $F^-$  בתמיסה. פלואוריד הוא מלח של פלואור, כלומר, מכיל את היון  $F^-$ .

הפלואוריד נמצא בכל המים הטבעיים בריכוז מסוים. מי ים מכילים 1 מ"ג לליטר, בזמן שבנהרות ובאגמים הערכים קטנים מ-0.5 מ"ג לליטר. במי תהום עשויים להיות ריכוזים נמוכים או גבוהים של פלואוריד כתלות בטבע המסלע ובהימצאות מינרלים מכילי פלואוריד.

## הפלרה

**הפלת מי-שתייה** היא תהליך מבוקר של הוספת פלואוריד בכמות של 1 מ"ג יון פלואוריד לליטר מי שתייה (1 חלקיק למיליון = 1ppm) כדי להילחם בחורים בשיניים.

## הפלרה של מים - מכתבה להפעלה בכיתה

### דפנה מנדלר

נושא המים במדינת ישראל מעסיק רבות את דעת הקהל. המים הם גם תחום שנלמד ברמות שונות במהלך הלימודים מכיתות הגן ועד לתיכון. בכימיה המים הם נושא רחב היקף הנלמד לעומק עד להבנת התכונות ברמה המולקולרית. במסגרת קורס בנושא המים שניתן בתכנית רוטשילד-ויצמן, התבקשו הסטודנטיות להתמודד עם היבטים שונים הקשורים לנושא המים, במטרה לבחור נושא עדכני ולכתוב עליו מאמר המתאים לתלמידים. בנוסף פותחו פעילויות המלוות אותו. המאמר כמובן צריך ללוות את חומר הלימוד השוטף בכיתה, והפעילויות הותאמו לרמת הלימודים המתאימה. בחרנו להציג פעילות העוסקת בנושא הפלרה שפותחה על ידי שלומית ואורית. הדוגמה המוצגת להלן מדגימה כיצד ניתן להשתמש בנושא תקשורתי מאוד ולעבד אותו למאמר מדעי שהתלמידים יכולים להתמודד אתו. הפעילות כוללת מאמר מדעי בנושא הפלרה. בעקבות המאמר מוצעות פעילויות שמטרתן לחדד את הנושא הלימודי. פעילויות מסוג זה מדגישות את הקשר בין כימיה לחיי היומיום שלנו ומקרבות את הכימיה לעולמם של תלמידינו.

\* אורית וינשטוק ושלומית וינטר, סטודנטיות לתואר שני בתוכנית רוטשילד ויצמן, הפעילות נכתבה במסגרת קורס בנושא מים בהנחיית ד"ר דפנה מנדלר

לליטר לבין 1.2 מ"ג לליטר שנקבעה כפונקציה של הטמפרטורה הממוצעת השנתית של המקום). זאת כדי להוריד את הסיכון בקרב ילדים ששותים את המים האלה מרגע לידתם.

## המלצות לילדים

הגיל (שנים)	צריכה יומית מומלצת (מ"ג ליום)
1/2 שנה עד 3 שנים	0.25
3 שנים עד 6 שנים	0.5
6 שנים עד 16 שנים	1

## הפלרה בישראל

בישראל התחילה ההפלרה המלאכותית ב-1983 בקיבוץ עין חורש, והיום כ-45% מהאוכלוסייה בארץ מקבלים מים מופלרים (כולל 5% הפלרה טבעית). ב-2001 2,433,000 תושבים קיבלו מים מופלרים מ-66 מתקני הפלרה בכל הארץ.

הייצור של חומצה פלואורוסיליצית בארץ הוא תוצר לוואי של תעשיות דשנים. סלע פוספט טחון מגיב עם חומצה גפרנית, ונוצר גז. מעבירים את הגז דרך המים ומקבלים חומצה פלואורוסיליצית.

## בעד ונגד הפלרה

😊 כיום ניתן למנוע ולרפא את מחלת העששת הודות להוספת הפלואוריד למים במינון מיטבי. הפלרת המים נחשבת בתולדות בריאות הציבור כהישג הנמצא בשורה אחת עם פסטור החלב, הכלרת המים, הוספת יוד למלח וכדומה.

😊 ארגון הבריאות העולמי קבע (1994) ששיטת ההפלרה היא היעילה ביותר בתחום אספקת המים לכלל האוכלוסייה,

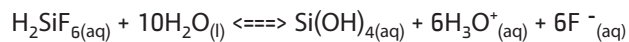
גילוי הפלרת המים כאמצעי למניעת עששת התרחש באחת האוכלוסיות השותה מים מנהר קולורדו. לאוכלוסייה זו היו כתמים חומים על השיניים בשל עודף פלואור במים, המכונים על שמה "כתמי קולורדו", אך לא הייתה לה עששת.

עששת היא מחלה הגורמת ריקבון והרס של השיניים כתוצאה מפעולתם של חיידקים. המחלה נגרמת כשחיידקים שנמצאים באופן קבוע על גבי השיניים מתסיסים גלוקוז לחומצה לקטית, וזו ממסה לאטה את זגוגית השן ולאחר מכן את שכבת הדנטין הפנימית יותר וגורמת ל"חורים" בשיניים.

יצירת העששת במבוגרים היא תהליך איטי שנמשך חודשים ואף שנים. בילדים ובנוער התהליך מואץ ומתבטא בהרס כללי ומהיר של השיניים.

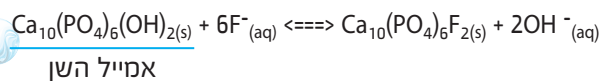
החומר שמוכנס למי השתייה בתור פלואוריד בארץ ובעולם הוא חומצה פלואורוסיליצית, שנוסחתה  $H_2SiF_6$ . חומצה זו היא תוצר לוואי של תעשיית הפוספטים.

התגובה עם מים היא:



כפי שניתן לראות, זוהי תגובה בשיווי משקל. זמן ההגעה לשיווי המשקל הכימי אורך שניות או לכל היותר דקות ספורות. הוספה של 1 מ"ג לליטר מן החומצה הפלואורוסיליצית די בה כדי לקבל את הריכוז הדרוש של יוני הפלואוריד.

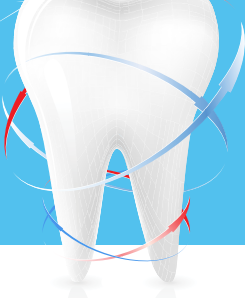
יון הפלואוריד הופך לחלק מאמייל השן וכך הוא משפר את עמידותו של האמייל לעששת, כפי שמראה התגובה הבאה:



לתגובת שיווי משקל זו קבוע שיווי משקל גבוה, ולכן בפיהם של אנשים השותים מים מופלרים קיים תוצר המכיל פלואור. תוצר זה מגיב פחות עם החומצה הנוצרת על ידי החיידקים, וכך נמנעת העששת.

הרשויות המוסמכות בתחום הבריאות בעולם ובישראל ממליצות לאזן את ריכוז יון הפלואוריד במים לרמה אופטימלית (בין 0.8 מ"ג





החדרת פלואור יכולה לגרום לקורוזיה בצנרת ובאביזרי מים שונים ולפליטת מתכות כבדות ורעילות כעופרת, נחושת וכו'.

ההפלרה מאלצת רשויות להכניס אלפי טונות של חומר מסוכן לשטחיהן ולחשוף את הציבור לסכנות-כשל במערכות אלו (תאונות, פיגועים וליקויים בתפעול).

ישנן חלופות יעילות ובטוחות יותר - הן לאדם והן לסביבה - לטיפול בעששת והן כוללות שילוב של טיפולי שיניים מונעים במסגרת סל הבריאות, הדרכה וחינוך לשמירה על הפה ושימוש במוצרי פלואוריד בפיקוח רופאי שיניים.

כפיית טיפול רפואי - מתן תרופה בכפייה לאוכלוסייה הוא, לטענת רבים, בגדר הפרה בוטה של חופש הבחירה של האזרחים.

**מהמחקרים השונים עולה כי אין הוכחה חד-משמעית המכריעה בסוגיה אודות הסכנה בריאותית הכרוכה בשתיית מים מופלרים.**

*ולמה אכאם? האם אכאם כצד הנואך או כצד הלא-נואך?*



בהנחה שהקהילה מצוידת בצנרת המאפשרת אספקת מים טובה אין נזק סביבתי מוכח להפלרה, אדרבה, מדובר במטרה ידידותית לסביבה מעין כמוה: חומר "רעיל" ממוחזר לצרכים חיוניים.

הסוכנות האמריקנית להגנה על הסביבה קבעה כי ראיות מדעיות כבדות משקל שוללות את הקשר בין חשיפה לפלואוריד לבין הסיכוי לחלות בסרטן.

הפלרת המים היא האמצעי היחיד המקטין פערים במצב הבריאות, מאחר שעששת היא מחלה שכיחה בקרב השכבות הסוציו-אקונומיות הנמוכות.

במים קיים פלואוריד באופן טבעי. הפלרה היא סך הכול התאמת ריכוז פלואוריד שקיים מלכתחילה לרמה המיטבית. הפלואוריד אינו תרופה ואינו רעל.

כמחצית מכמות הפלואוריד הנצרכת על ידי האדם מצטברת במשך השנים ברקמות המסתיידות [שיניים ועצמות] ופוגעת בתפקודן. על פי מחקרים מהשנים האחרונות, הוספת פלואוריד גם במינון המומלץ על ידי משרד הבריאות עלול לגרום לפלואורוזיס.

מקורו של הפלואוריד המשמש להפלרת המים הוא חומצה פלואורוסליצית, שהיא תוצר לוואי רעיל של מפעלי תעשיות הדשנים. החומצה מכילה מתכות כבדות רעילות ומסרטנות בניגוד לפלואור הטבעי המצוי במים. אין מחקר בארץ המעיד על ההשפעות של השימוש בחומצה זו על בריאות האדם.

לפלואוריד במים יש פוטנציאל לגרום לריכוז גבוה של עופרת בדמם של ילדים, למחלת הסרטן, לפגיעות בכליות, במערכת העיכול ובבלוטת התריס ולתופעות לוואי אחרות בקרב קבוצות רגישות, כגון: תינוקות, ילדים, קשישים, חולי דיאליזה וכו'.

רק 5% מהמים המופלרים המשמשים לשתייה ולמזון ישמשו לאספקת פלואוריד לאדם, השאר יופלרו לריק ויזהמו את הסביבה (חקלאות, רחצה, ניקיון וכו'). הסיכון מזיהום הקרקעות הוא זיהום מי התהום והגדלת ריכוז הפלואוריד בתוצרת החקלאית ובשרשרת המזון. פלואוריד במים יגיע דרך הביוב לקולחים, ולכן יעלה ריכוזו (כתוצאה מהשקיה בקולחים) בשרשרת המזון במים ובקרקע.

## שאלות למאמר -

### הפלרה - תרגיל הונאה?

1. הסבירו מדוע הפלואור, F<sub>2</sub>, אינו נפוץ בטבע.

2. א. בהסתמך על ניסוחי התגובות במאמר, האם המים המופלרים הם חומציים, בסיסיים או נייטרליים? נמקו.  
ב. מה יהיה טווח ה-pH של מים אלו?

3. הסבירו במילים שלכם מדוע פלואוריד מונע עששת.

4. בטבלה שבמאמר יש המלצה לצריכה היומית המומלצת של פלואוריד לכל גיל. מדוע לדעתכם יש הבדל במינון הפלואוריד המומלץ?

5. הנתונים בטבלה הבאה מייצגים את רמת הפלואוריד במים ואת שיעור העששת באזורים שונים:

ריכוז יוני פלואוריד במים (mg/l)	שיעור העששת (מס' ילדים לכל 100,000 ילדים)
0	821
0.1	767
0.3	652
0.5	444
0.9	343
1.2	281
1.8	252

א. תארו את הנתונים בעזרת דיאגרמת פיזור XY בתוכנת אקסל.

ב. האם הקשר בין רמת הפלואוריד לשיעור העששת נראה כקשר ליניארי?

ג. מה ניתן להסיק מהגרף?

6. א. מנו 3 טענות בעד הפלרה.

ב. מנו 3 טענות נגד הפלרה.

ג. מה דעתכם - האם כדאי לבצע הפלרת מי שתייה בישראל?

**בהצלחה!!**

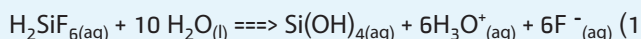
## עיבוד הכתבה לשאלת מאמר

### ניתוח קטע ממאמר מדעי

קראו את הקטע שלפניכם וענו על כל הסעיפים שאחריו

במדינות רבות וגם במדינת ישראל נהוג לבצע תהליך הפלרת מי שתייה. זהו תהליך מבוקר של הוספת פלואוריד בכמות של 1 מ"ג יון פלואוריד לליטר מי שתייה (1 חלקיק למיליון = 1ppm) כדי להילחם בחורים בשיניים.

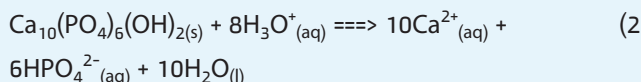
התגובה לקבלת יון הפלואוריד היא:



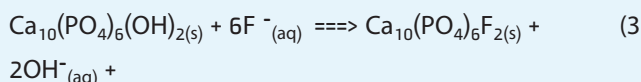
השכבה החיצונית של השן, האמייל, מורכבת מ-97% סידן הידרוקסי אפטיט -  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2(\text{s})$ , ובנוסף גם חלבון מסוג קולגן ומים. שכבה זו מגינה על השכבות הפנימיות, הרכות יותר.

פגיעה בשכבת האמייל גורמת להופעת מחלת עששת השן (ריקבון השיניים). גורמי המחלה הם חיידקים הנמצאים בחלל הפה. החיידקים מקיימים את תהליכי החיים שלהם על ידי הפקת אנרגיה המתקבלת בתהליכי פירוק של פחמימות, המגיעות לפה כחלק מהמזון. במהלך תהליכי פירוק אלה משתחררת חומצה.

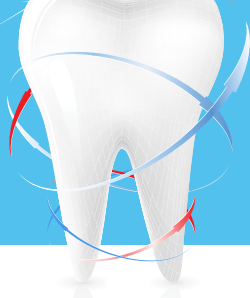
החומר המצוי באמייל מגיב עם חומצה זו, וכך נהרס האמייל. ניסוח התגובה לפירוק החומר שבאמייל:



יון הפלואוריד משפר את עמידותו של אמייל השן לעששת משום שהפלואוריד הופך לחלק מאמייל השן, כפי שמראה התגובה הבאה.



התוצר  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$  הוא בסיס חלש יותר מהמגיב  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  ולכן הוא מותקף פחות על ידי חומצה שהחיידקים יוצרים.



## ענו על כל הסעיפים הבאים:

א. החומר  $\text{Ca}_{10}(\text{HPO}_4)_6(\text{OH})_2(s)$  הוא רכיב מרכזי באמייל השן.

(1) האם חומר זה שייך לקבוצת החומרים היוניים או המולקולריים? לפי מה למדתם זאת?

(2) האם הוא מתמוסס במים? נמקו תשובתכם.

ב. רופאי השיניים מטפלים בפלואוריד. הם מצמידים פלטה המותאמת לשיניים עם משחה המכילה ריכוז גבוה של פלואוריד למשך דקה. ה- pH של הרוק קרוב ל-7.

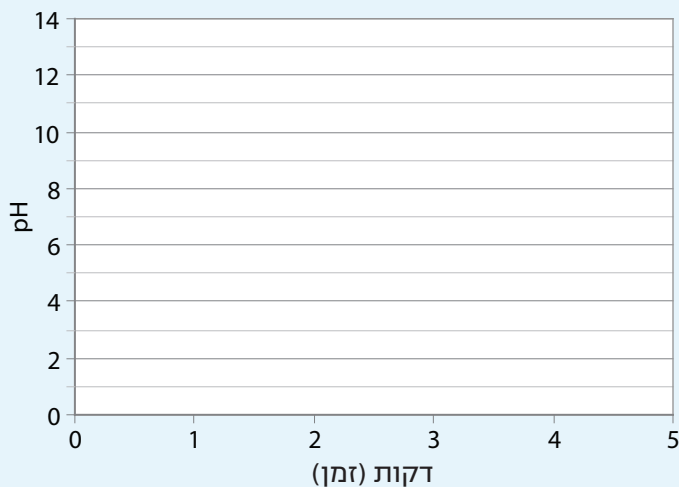
(1) ציירו במערכת הצירים של pH כנגד זמן את השתנות ה- pH (ציור איכותי).

(2) הסבירו את הגרף שציירתם בסעיף א'.

ג. נתון בידינו ליטר מי שתייה. בהסתמך על תגובה 1, כמה גרם חומצה,  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ , יש לקחת על מנת לקבל 1 מ"ג יון פלואוריד במים? פרטו חישוביכם.

ד. (1) רשמו דרגות חמצון על כל האטומים בחומרים המופיעים בתגובה 1.

(2) האם התגובה היא תגובת חמצון-חיזור? אם כן, רשמו מי המחמצן ומי המחזור.



## מקורות מידע

[פלואור - ויקיפדיה](#)

[פלואוריד - ויקיפדיה](#)

[פלואוריד - אתר דוקטורס](#)

[הפלרת מי-שתייה - ויקיפדיה](#)

[עששת - ויקיפדיה](#)

<http://www.derech.net/fluoride-00.htm>

<http://www.israel-dental.co.il/tipulim.htm>

<http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-3105877,00.html>

[http://www.biu.livedns.co.il\(S\(04x3t4eqgbn5z045ku2loojq\)/Uploaded/Documents/85.doc](http://www.biu.livedns.co.il(S(04x3t4eqgbn5z045ku2loojq)/Uploaded/Documents/85.doc)