



היבטים סביבתיים, בריאותיים וגיהותיים של שימושי אפר פחם

- אבק -

**סקירת מחקרים ועבודות
בהיגוי צוות מקצועי – מדעי (גיהות)¹
מנהלת אפר הפחם**

אוקטובר 2016

¹ חברים בצוות לדורותיו: פולה אורנשטיין, מרסל לייזר, קורט למש, דר' אריאל מצגר, דר' יעקב נתן ז"ל, דר' לובה פושנוי, דר' אשר פרדו.



סקירת מחקרים ועבודות
אוקטובר 2016
היבטים סביבתיים, בריאותיים וגיהותיים של שימושי אפר פחם

תוכן עניינים

עמ'

1	הקדמה
	אפר תחתית
1	❖ נוכחות מרכיבי אפר במדגמי אבק מנוטר בעבודה עם אפר תחתית (אפ"ת) – יועץ דויטש
1	❖ נוכחות קוורץ באפ"ת – דר' יעקב נתן
1	❖ ניטור אבק בעבודה עם אפ"ת בסלילה – מאיר שרבני
2	❖ ניטור אבק בעבודה עם אפ"ת בחקלאות בחממות ובשטח פתוח – הילה רודוי
2	❖ ניטור אבק בעבודה עם אפ"ת במפעלי בלוקים – הילה רודוי
	אפר מרחף
3	❖ סקר ספרות בנושא היבטי גיהות ובריאות של אפר – דר' אשר פרדו
4	❖ עדכון ספר ספרות בנושא היבטי גיהות ובריאות – פיליפ גולדברג
5	❖ היבטי בריאות תעסוקתית של קוורץ באפר מרחף ישראלי – דר' יעקב נתן, דר' אריאל מצגר, דר' אשר פרדו, מיכאל דבוראצ'ק



סקירת מחקרים ועבודות
אוקטובר 2016
היבטים סביבתיים, בריאותיים וגיהותיים של שימושי אפר פחם

הקדמה

פחם נוצר מהצטברות חומר אורגני שכוסה בשכבות סחף אדמה וסלעים המכילים גם קוורץ או סיליקה גבישית (SiO_2), ולכן גם האפר מכיל סיליקה, והיא מהווה בו את המרכיב העיקרי בחומר (40 – 60 אחוז משקלית). קוורץ בצורתו החופשית (סיליקה גבישית חופשית) החודר לריאות ע"י נשימת אבק המכיל אותו עלול לגרום למחלות ריאה כפנאומוקוניוזיס, סיליקוזיס ולהשפעות מסרטנות, בעיקר בקרב עובדים הבאים במגע עם האבק. כדי להימנע מכך נקבעו ערכים מרביים מותרים ל"אבק מזיק" בסביבת העבודה הכללית והאישית (תקן תעסוקתי) המגדירים את הרמה המותרת בחשיפת אדם לפרק זמן כולל של כ- 8 שעות עבודה.

לצורך הערכת הסיכון מחשיפה פוטנציאלית לאבק אפר פחם מרחף ותחתית במסגרת יישומיהם, בוצעו מטעם המנהלת בדיקות מעבדה לנוכחות קוורץ באפר תחתית, ניטור אבק בעבודה עם אפר תחתית באתרים שונים, וניתוח ההיבט הגיהותי-תעסוקתי של קוורץ באפר מרחף בהתבסס על מידע מן העולם ומחקר מקומי שסוכם ב- 2009.

אפר תחתית

בדיקות מעבדה לנוכחות אפר פחם במדגמי אבק ונוכחות קוורץ באפר תחתית (אפ"ת) בוצעו ב- 2002 ע"י יועץ דויטש ודר' יעקב נתן מן המכון הגיאולוגי, בהתאמה. בבדיקות מדגמי האבק (במסגרת ניטור אבק מ- 2002 ברמת ישי, יפורט בהמשך) הוערך ריכוז אפר באבק ל- 5 – 10 אחוז במדגם מדוגם ניטור אישי, ו- $0 < 2$ אחוז במדגמים מדוגם ניטור סביבתי. מבדיקות נוכחות קוורץ באפר התחתית שבוצעו בקרני X ובצילומי SEM, עולה שלא קיים סיכון בריאותי מקוורץ באפר תחתית דק משום שמרבית הפרקציה הדקה של הקוורץ (מתחת ל- 10 מיקרון קוטר אווירודינמי) הינה אמורפית, עקב ריאקציות עם החרסיות והקלציום החופשי באפר ליצירת פאזה אמורפית אלומינו-סיליקטית, ריכוזה המרבי היה 0.085% מכלל האפר, והקוורץ הופיע בצילומי ה- SEM בצורה אי-רגולרית ולא כסיבים.

ניטור אבק בעבודה עם אפ"ת בוצע בין השנים 2002-2005 באתרים שונים.

בקיץ 2002 בוצע ע"י החברה לשירותי איכות הסביבה בפיקוח מאיר שרבני ניטור במהלך עבודות סלילה עם אפ"ת גס סמוך לקיבוץ זיקים, שכללו שינוע, פיזור, הידוק והרטבת האפר. בוצע ניטור סביבתי לחלקיקי אבק בפרקציית גודל של עד 10 מיקרון באמצעות הצבת דוגמים בשטח, וניטור תעסוקתי לאבק בר-נשימה בגודל עד 7 מיקרון (קוטר אווירודינמי) באמצעות דוגמים אישיים ובשטח לקביעת רמת חשיפת העובד לאבק הננשם באוויר. עפ"י ממצאי הניטור הסביבתי שנמשך 3 ימים לא נמצאה חשיפה מעל הרמה המותרת לחומר חלקיקי עדין עפ"י תקנות למניעת מפגעים-



**סקירת מחקרים ועבודות
 אוקטובר 2016
היבטים סביבתיים, בריאותיים וגיהותיים של שימושי אפר פחם**

איכות אוויר, 1992 (0.15 מ"ג/מ"ק בחשיפה למשך 24 שעות) והריכוז המרבי שנמדד באוויר עמד על 43%~ מהתקן. **בניטור התעסוקתי** לא נתקבלה כמות מספקת לאנליזת XRD של קוורץ, ואולם גם בהנחה המחמירה שכל האבק מקורו באפר הפחם ושתכולת הקוורץ החופשי באפר הינה 5%, עדיין ריכוז הקוורץ באוויר באזור הנשימה של העובד היה נמוך בסדר גודל מהמותר עפ"י תקנות הבטיחות בעבודה (גיהות תעסוקתית ובריאות הציבור והעובדים באסבסט, טלק וצורן דו חמצני גבישי) – 1984 (0.01 לעומת 0.1 מ"ג/מ"ק, בהתאמה) ומרמת הפעולה שנקבעה לקוורץ בר-נשימה בתקנות אלו (0.05 מ"ג/מ"ק).

בין השנים 2002-2005 בוצע ע"י החברה הישראלית לחקר מדעי החיים (LSRI) בפיקוח הילה רודי ניטור סביבתי ותעסוקתי באתרים בהם נעשה שימוש באפ"ת גס לחקלאות במהלך שינוע האפר ופיזורו, אם באתר פתוח (שדה באזור קיבוץ רמת ישי ומושב צור משה) או סגור (חממת כפר יהושע, מחסן בנווה ים), בהשוואה לניטור בנקודות ייחוס רחוקה מהשפעת האפר. ריכוזי האבק המרחף שנמדדו **בניטור הסביבתי** נמצאו נמוכים מהמותר, הן באתרים פתוחים: מכס' 0.097 ו-0.021 מ"ג/מ"ק בצור משה בהשוואה לריכוז מרבי מותר בחשיפה למשך 3 שעות של 0.3 מ"ג/מ"ק לאבק כללי מרחף ו-0.15 מ"ג/מ"ק לאבק מרחף בגודל עד 10 מיקרון, בהתאמה (ממצאי הניטור ברמת ישי נפסלו עקב רמות רקע גבוהות מהמותר שנמדדו בנקודת הייחוס) והן באתרים סגורים: מכס' 0.19 ו-0.069 מ"ג/מ"ק לאבק כללי ובגודל עד 10 מיקרון בכפר יהושע, בהתאמה. ערכי הניטור בנווה ים עמדו בתקן בנקודת דיגום אחת מתוך שתיים שנבחרו ועמדו על 0.256 ו-0.1 מ"ג/מ"ק עבור אבק כללי מרחף ועד 10 מיקרון, בהתאמה (יש לציין כי באתר בוצעה עבודה אינטנסיבית ביותר). גם **בניטור התעסוקתי** שכלל הצמדת דוגם לעובדים שבאו במגע עם האפר לא נמצאו חריגות מהמותר באתר בנווה ים (0.9 מ"ג/מ"ק לאבק כללי מרחף) ובאתר בכפר יהושע בו בנוסף גם לא נתגלו שאריות של סיליקה במדגמים. במדגמי האבק מכפר יהושע, צור משה ונווה ים בוצעה גם אנליזה לתכולת מתכות באבק ולא נמצאו חריגות מן המותר.

ב- 2004 בוצע ניטור אבק במתחם מפעל בלוקים בכפר כנא ע"י LSRI בפיקוח הילה רודי. בוצע ניטור סביבתי ותעסוקתי (הצמדת דוגם לנהג טרקטור ששינע את האפר). ממצאי הניטור הסביבתי היו נמוכים מהמותר: מכס' 0.093 ו-0.054 מ"ג/מ"ק לאבק כללי מרחף ובגודל עד 10 מיקרון, בהתאמה. גם ממצאי הניטור התעסוקתי היו מתחת למותר: 0.069 מ"ג/מ"ק בהשוואה לתקן 0.3 מ"ג/מ"ק של ה-ACGIH (התאגדות הגיהותניים התעסוקתיים הממשלתיים בארה"ב).

ניטור נוסף לאבק בעבודה עם אפ"ת בוצע ב- 2011 במתחם מפעל בלוקים בשם סאן-בלוק ע"י LSRI בפיקוח מאיה צפון. ריכוזי האבק שהתקבלו בשלוש נקודות הדיגום בזמן העבודה עם האפר היו נמוכים בהשוואה ליום העבודה בו עבדו ללא אפר, למעט שתיים מתוך תשע מדידות, ולא נמצאו שאריות סיליקה בדוגם אישי שהוצמד לנהג מלגזה.



**סקירת מחקרים ועבודות
 אוקטובר 2016
היבטים סביבתיים, בריאותיים וגיהותיים של שימושי אפר פחם**

אפר מרחף

ב- 2005 הושלמה סקירה ספרותית של היבטי גיהות ובריאות בעבודה עם אפר פחם מרחף שהוכנה לבקשת המנהלת ע"י דר' אשר פרדו, יועץ גיהות תעסוקתית וסביבתית. הסקירה התבססה על חומר ספרותי שכלל גיליונות בטיחות לאפר פחם (MSDS- Material Safety Data Sheet), מאמרים מקצועיים, פרסומי גופים, מוסדות מקצועיים, חברות מהעולם ועוד. רוב החומר דן באפר המרחף, ובהיקף מצומצם באפר תחתית. נסקרו חמישה גורמי חשיפה וסיכון בולטים בשני סוגי האפר: אפר הפחם עצמו, סיליקה גבישית חופשית, מתכות כבדות, תרכובות פחמימניות ארומטיות וקרינה מייננת. אולם השינוי החל בחומר בתהליך השריפה יוצר היבט סיכון שונה לחלוטין מזה של הפחם הבא לידי ביטוי בהיעדר תחלואה ספציפית של עובדים באפר בהשוואה לעובדים בפחם כגון במכרות פחם.

האפר המרחף מהווה כ- 88% מכלל מקטעי האפר. טיפול במשקעים אלקטרוסטטיים בלבד מסלק מעל ל- 99.5% מחלקיקי האפר המרחף ושילוב זה יחד עם טיפול במתקן FGD (Flue Gas Desulfurization) מקטין עוד יותר את תכולת הפליטה לאוויר. בתהליך השריפה האפר נמצא במצב נתך וקירור מהיר של החומר מביא להיווצרות כדורים זכוכיתיים אמורפיים המכילים 60-80 אחוז של תחמוצות אלומינו-סיליקטיות וכמויות קטנות של מינרלים כגון קוורץ, מוליט, מגנטיט והמטיט. האפר אמנם מכיל 5% – 15% אחוז קוורץ (סיליקה גבישית חופשית) אולם אינו רלבנטי כפוטנציאל נזק בריאותי מהסיבות הבאות: **א.** הקוורץ שאינו טבוע בפאזה הזכוכיתית מורכב מחלקיקים גסים שאינם ברי נשימה; **ב.** ריכוז נמוך של מקטע הקוורץ בר הנשימה (כ- 0.1% – 0.2% מכלל האפר המרחף) יחד עם העובדה שחלקיקיו כלואים בתוך אותם כדורים זכוכיתיים וכתוצאה מכך פני השטח שלהם תבויים. נתונים אלו מסבירים את היעדר הממצאים של סיליקוזיס ומחלות אחרות במחקרים אפידמיולוגיים על עובדים החשופים לאפר מרחף, למעט פניאומוקוניוזות בעובדי מכרות פחם לשעבר, מהסיבה שהנזק הבריאותי נגרם כתוצאה מתגובות של פני השטח של הקוורץ, שכאמור אינם גלויים באפר. כן הודגמו ליקויים בתפקודי ריאות וסימפטומים נשימתיים אחרים בעובדים שנחשפו לריכוזים גבוהים של אפר לתקופה ארוכה, אולם בדומה לליקויים שתוארו מחשיפה ממושכת לאבק אנאורגני אחר. **אפר התחתית** אוזכר בסקירה בהקשר של חוסר סיכון בריאותי ממנו מאחר וגודל החלקיקים אינו מאפשר את ריחופם, והעובדה שמקטע החלקיקים ברי הנשימה (עד 7 מיקרון קוטר אווירודינמי) הוא 0.4% בלבד וחלקם אינו מגיע לריחוף עקב כליאתם בין חלקיקים גסים.

הנתונים שהצטברו ממחקרים על אפר (בעיקר המרחף) לא אפשרו לבודד את השפעתו על הריאות והגוף מהשפעת הסיליקה, כמו גם להסיק אם הוא מקטין או מגדיל את רעילותה. ידוע שחשיפה לא מבוקרת וללא אמצעי מיגון מתאימים (כבכל חשיפה לאבק מכל סוג שהוא) עלולה לגרום לתופעות כמו גירוי ויובש בדרכי הנשימה, העור והעיניים. המסקנה העיקרית העולה מן הסקירה



**סקירת מחקרים ועבודות
 אוקטובר 2016
היבטים סביבתיים, בריאותיים וגיהותיים של שימושי אפר פחם**

היא שניתן להתייחס לאפר הפחם, ובייחוד לאפר תחתית, כאל חומר אינרטי שהאבק הנוצר ממנו הוא "אבק מטריד", כמקובל במדינות אחרות בעולם המסווגות כך את האפר. בארה"ב למשל לא נקבעו תקני חשיפה ספציפיים לאפר מרחף או תחתית ע"י ה- ACGIH ו- OSHA- מוסד הבטיחות והגיהות (Occupational Safety and Health Administration) השייך למשרד העבודה, והוא נכלל ברשימת "חלקיקים בלתי מסווגים" (PNOS- Particles Not Otherwise Specified) לאבק מכל סוג שהוא שאין לגביהם תקן ספציפי.

סקר ספרות זה יחד עם סיכום מחקר מקיף של מכון KEMA היוו מנוף להגשת בקשה לוועדה הטכנית לאבק מזיק ולמשרד הגנת (איכות דאז) הסביבה להוציא את אפר הפחם מתקנות אבק מזיק, להגדיר אבק מרחף של האפר כאבק מטריד (nuisance dust) ולהגדיר את אפר התחתית כפסולת יבשה עפ"י הקריטריונים המקובלים בארץ. בספטמבר 2005 הוצא אפ"ת מתקנות אבק מזיק בהמלצת הוועדה הטכנית שהועבר לוועדה הרפואית העליונה לאבק מזיק, אולם בשלב זה האפר המרחף נותר לא הוצא מתקנות אלו, בעיקר בגלל התלבטות לגבי פוטנציאל החשיפה לסיליקה גבישית חופשית באפר זה. על כן הוחלט ע"י המנהלת לערוך חקירה של ריכוזי סיליקה גבישית חופשית באפר המרחף, שכללה בין היתר אנליזה מורפולוגית של האפר וכן ביצוע סקר ספרות מקצועי נוסף ומעודכן שהושלם ב- 2006 ע"י פיליפ גולדברג.

הסקר כלל תימוכין טוקסיקולוגיים ורפואיים קליניים להגדרת אפר פחם מרחף ותחתית כאבק מטריד, חידושים בנושאי רגולציה תעסוקתית וסביבתית לשימושי אפר בארץ ובעולם ותוצאות מסקרים טוקסיקולוגיים ורפואיים הקשורים לחשיפה לאפר בשימושו. הסקר נעזר באתרי אינטרנט של ארגונים ציבוריים (מכוני מחקר, אוניברסיטאות, ארגוני עובדים, ארגון הבריאות העולמי, תחנות כח ועוד) ופרטיים (כגון- European Association of industrial silica Eurosil- producers). מתוצאות הסקר נלמד כי אין חדש בנושא חשיפה תעסוקתית וסביבתית לאפר פחם, ובכללו סיכונים בריאותיים. ממצאים מארה"ב (סקר של ה- EPRI- ארגון גג של תחנות הכח במדינה זו, והיעדר תביעות לפיצויים בגין נזק בריאותי כתוצאה מחשיפה לקוורץ מאפר פחם) ומאנגליה הראו כי אין השפעות בריאותיות הקשורות לסיליקה גבישית כתוצאה מחשיפה לאפר מרחף בקרב עובדים בתחנות כח פחמיות ואוכלוסייה החיה בסמוך להן. ההסבר לכך ניתן במחקר של Dr. Ruud Meij ממכון KEMA לפיו רק כ- 0.1% מן הקוורץ באפר מצוי במקטע בר-נשימה ועפ"י מחקרים אפידימיולוגיים אינו מהווה סיכון בריאותי, זאת בשל כליאתו בפאזה הזכוכיתית בהתבסס על אנליזה מיקרוסקופית של 11 אלף חלקיקי אפר. מסיבות אלו בארה"ב כמו גם באירופה לא נמצאו תקנות ספציפיות לגבי חשיפה תעסוקתית או סביבתית לאפר פחם והוא מוגדר במדינות אלו כאבק מטריד מכל סוג שהוא. בסקירתנו המחבר גם הסתמך על מאמר בנושא אפ"ת של דר' יעקב נתן מהמכון הגיאולוגי שקבע שאינו מהווה סכנה למי תהום או לאוויר הסביבה בשימושו, וכי יש להגדירו כפסולת אינרטי כפי שהוא מוגדר כך גם בקריטריונים אירופאיים מחמירים.



**סקירת מחקרים ועבודות
אוקטובר 2016
היבטים סביבתיים, בריאותיים וגיהותיים של שימושי אפר פחם**

במסגרת תכנית עבודה לשינוי הגדרת אבק אפר מרחף בישראל מ"אבק מזיק" ל"אבק מטריד" הוחלט ב- 2007 בהמלצת הצוות מקצועי-מדעי (גיהות) של המנהלת על [ניטור אבק באזורים המועדים לפיזור אפר מרחף בתחנת הכח "אורות רבין"](#), לצורך אנליזה כמותית של סיליקה גבישית חופשית באבק כללי ובר-נשימה, במסגרת [מחקר היבטי בריאות תעסוקתית של קוורץ באפר מרחף בישראל שבוצע ע"י דר' יעקב נתן, דר' אריאל מצגר, דר' אשר פרדו ומיכאל דבוראצ'ק](#). הניטור בוצע בשטח ע"י "טבת – בריאות וגיהות תעסוקתית" וכלל את הפעולות הבאות: א. ניטור חצי שנתי של חשיפת עובדים לסיליקה גבישית שבוצע בין השנים 2006-2009 וכלל 25 נקודות דיגום לאבק כללי ובר-נשימה באתרי עבודה עם אפר בתחנת הכח; ב. דיגום אבק אפר מרחף במהלך נובמבר-דצמבר 2008 לבדיקת ריכוז הקוורץ במקטע בר-שאיפה ובר-נשימה בגובה 2 מטר מעל פני הקרקע במבנה ממגורות האפר המרחף בו האפר מועמס למכליות מתחת למגורות; ג. דיגום אפר מרחף משני מקורות פחם (קולומביאני ודרום אפריקאי) בעת שריפתם בתחנה מהמגורות לצורך בדיקות במיקרוסקופ אלקטרוני סורק (SEM) ומיפוי יסודות כימיים במכון הגיאולוגי. [הממצאים](#): 1. מתוך 118 ו- 69 דוגמאות אבק שנבדקו לריכוזי סיליקה גבישית באבק כללי ובר-נשימה, בהתאמה, נמצאה חריגה אחת בלבד מערך TLV לסיליקה גבישית לגבי כלל האבק באוויר (0.3 מ"ג/מ"ק ריכוז משוקלל במהלך 8 שעות) ו- 3 חריגות בלבד מהערך לאבק בר-נשימה (0.1 מ"ג/מ"ק ריכוז משוקלל במהלך 8 שעות); 2. ריכוז הקוורץ במקטע בר-שאיפה נע בין 2.3 – 4.3 אחוז ובמקטע בר-נשימה הריכוז היה מתחת לסף הרגישות ועד 2.5 – 2.9 אחוז, בהשוואה ל- 5% באפר הגולמי; 3. באנליזת SEM ומיפוי כימי נמצא שרוב חלקיקי הקוורץ במקטע הדק (מתחת ל- 10 מיקרון) מצופים ע"י שכבה של אלומינו-סיליקטים ואינם חופשיים.

מהממצאים לעיל עולה שריכוז הקוורץ באפר נמוך בהרבה מהריכוז הצפוי המחושב מהתרכוזת הקוורץ הכלול בפחם, מאחר שבזמן השריפה חלק מהקוורץ מותך ונוצרות תרכובות אלומינו-סיליקטיות, וחלקיקי הקוורץ הקטנים שהם יותר ריאקטיביים מגיבים עם תרכובות אלו ובמידה מסוימת עם חלקיקי קלציום לייצור הפאזות הזכוכיות-אמורפיות החדשות מהן נוצר האפר בדוד. המסקנה העיקרית שעלתה מן המחקר הייתה שיש להתאים את סיווג האפר בישראל להנחיות הקיימות במדינות מפותחות בעולם (למשל הולנד, אנגליה וארה"ב) לפיהן אבק אפר מרחף נחשב אבק מטריד ולא מזיק.

בעקבות דיון בהשתתפות מומחים מחו"ל בסדנא בינלאומית של המנהלת שהתקיימה בדצמבר 2009 על ממצאי מחקרי המנהלת, הידע והניסיון הבינלאומי, [נוסחה המלצה לשינוי הגדרת אפר מרחף בתקנות אבק ממזיק למטריד](#) שהוגשה לגורמי הרישוי במשרדי הגנת הסביבה והתמ"ת, ומקבלת ביטוי בתהליכי חקיקה עדכניים של אבק לסוגיו.