

ניתוח עלות-תועלת של הצללה בישראל

צוות היגוי

ד"ר עמיאל וסל, מ"מ מנהל תחום מדיניות, משרד הבינוי והשיכון
ד"ר אביעד הדר, יועץ מדעי, משרד הבריאות

צוות המחברים

פרופ' ניר בקר, החוג לכלכלה וניהול, המכללה האקדמית תל חי
מר אור נביעות, החוג לכלכלה וניהול, המכללה האקדמית תל חי

תודות

אסתי כהן ליס
ד"ר איזבלה קרקיס
ד"ר בלה סביצקי
זהר הוברמן לנג
חיים ליברמן ניבה
מנור
נעם הירש
עמיר יצחקי

עיצוב | סטודיו 7 - www.7design.co.il

עריכה לשונית | יוחאי פרץ



תוכן העניינים

4	דברי ברכה
6	מבוא
8	מתודולוגיה
8	דרך אומדן העלויות
8	סוגי תועלות
9	עלות ישירה למערכת הבריאות
9	גישת ערך חיי אדם ושנת חיים מתואמת VSL-DALY
10	דרך אומדן התועלות
10	סרטן עור
12	פעילות גופנית
13	הורדת PM _{2.5} ומזהמים נוספים
14	ממצאים
14	עלויות הצללה שונות
14	תועלת מהפחתת סרטן עור
15	חישוב תועלת הפחתת חשש לסרטן עור
18	תועלת מפעילות גופנית
21	תועלת בירידת ריכוז מזהמים
22	ניתוח עלות תועלת
22	עלות תועלת הצללה מלאכותית
22	מקרה בוחן 1 - ילדים
24	מקרה בוחן 2 - מבוגרים
25	מקרה בוחן 3 - הצללה טבעית
28	סיכום ומסקנות
29	ספרות
37	נספחים
37	עלויות מקרה בוחן הצללה מלאכותית באוסטרליה
37	חישוב עלות ישירה סרטן עור
38	עלויות חיצוניות מזהמים
39	בחינת אפשרויות הצללה

דברי ברכה

צל הוא גורם מפתח המאפשר את קיומם ותפקודם של המרחבים הציבוריים, אשר הינם עורקים מרכזיים של הערים והיישובים בהם אנו חיים. משרד הבינוי והשיכון שם את נושא שיפור המרחב הציבורי בקדמת הבמה ופועל לקידום נושא זה בדרכים שונות.

במהלך חודשי הקיץ הארוכים, אנו שבים ונזכרים מחדש עד כמה הצל הקיים אינו מספק ועד כמה אנחנו סובלים מהעדרו. מומחים שונים והציבור הרחב מציעים ודורשים להגביר את כמות הצל באמצעים שונים - כדוגמת עצים, קולונדות, רשתות צל, פרגולות ואף הבניינים בעצמם. ובכל זאת, יצירת הצל בארצנו אינה פשוטה ודורשת משאבים, תעדוף בקרב מקבלי החלטות וכן מקצועיות על מנת שהצל שיופק יהיה יעיל לאוכלוסיות היעד הרלוונטיות.

מבחינה מקצועית קיימים מסמכים רבים המציעים אופנים שונים ליצירת הצל הנכסף. מיפוי הנושא על ידינו העלה כי החסם המרכזי הינו תרגום התובנות בתחום זה לשיח אל מול מקבלי החלטות. השפה המתאימה ביותר הינה שימוש בתמחור התועלות המתקבלות מהצל המבוקש לערכים כספיים, בכדי שאפשר יהיה לקבל החלטות מושכלות ומאוזנות אל מול שאר הצרכים העומדים לפתחם של מקבלי ההחלטות.

מתוך כלל התועלות של הצל בחרנו להתמקד בעבודה זו בתועלת הכלכלית של צל לבריאות הציבור במספר תחומים. מסקנות עבודה זו כימתו לראשונה בישראל את התועלת הכלכלית הנובעת מן הצל, וחשפו אותנו לתובנות נוספות הנוגעות להבדלים בין גורמי ההצללה השונים ויעילותם, וכן להבדלים בתועלות שבין קבוצות היעד השונות באוכלוסייה לאור רגישותם לגורמי התחלואה שנבחנו.

בהמשך לעבודה זו, נבחן יחד עם משרד הבריאות את צורות היישום השונות של התובנות מעבודה זו ונפעל לשילובם בהליכי קבלת החלטות בכדי לקדם מרחב ציבורי איכותי ושימושי יותר בעתיד.

מר נתנאל לפידות,

מנהל אגף בכיר, תכנון אסטרטגי ומדיניות

משרד הבינוי והשיכון



גורמים רבים משפיעים על בריאות האדם ועל הפערים בין קבוצות ואזורים שונים בארץ. בניגוד לתפיסה הרווחת, מכלל הגורמים המשפיעים על הבריאות ועל הפערים בה, נגישות לשירותי בריאות מהווה רק 20% מההסבר. 80% הינם גורמים הקשורים להתנהגויות, גורמים סוציאקונומיים, גורמים בסביבה שלנו, וכמובן הקשר בין כולם.

הצללה הינה גורם סביבתי חשוב, במיוחד בישראל ובמדינות אחרות, אשר בהן שיעור הסכנה הנובע מנזקי היחשפות לשמש כתוצאה מקרינה הוא גבוה. להצללה יש השפעה ישירה ועקיפה על תחלואה ועל התנהגויות המשפיעות על הבריאות.

בעבודה זו ניסינו לכמת את המשמעות הכלכלית של הפחתת סרטן העור, עלייה בתדירות ומשך הפעילות הגופנית והתועלת כתוצאה מספיחת $PM_{2.5}$ אל מול העלות של הצללה טבעית ומלאכותית, בתקווה שמסמך זה ישמש את קובעי המדיניות בתחום התכנון בעת קבלת החלטות המשפיעות על הבריאות.

תודה למשרד הבינוי והשיכון על שותפות הדרך וקידום הנושא החשוב הזה.

ד"ר אודי קלינר,

סגן ראש שירותי בריאות הציבור

משרד הבריאות

להצללה נודעות כמה תועלות כלכליות, אך יכולת הכימות שלהן איננה טריוויאלית, זאת משום שהתועלות הללו אינן באות לידי ביטוי באמצעות השוק, שבו יש מנגנון מחירים אשר מצביע על הערך של המוצר הנרכש. התועלות המרכזיות של הצללה, אשר עבודה זו בחרה להתמקד בהן, באות לידי ביטוי בתחום הבריאות - ובאופן ספציפי בהפחתה של מקרי סרטן העור; באפשרות לקיים מגוון רחב יותר של פעילויות גופניות ובתדירות גבוהה יותר; ולבסוף, בפוטנציאל להפחתת חלקיקים מסוג $PM_{2.5}$. יתרה מזאת, הצללות מסוימות טומנות בחובן גם תועלות אסתטיות, אשר רלוונטיות בעיקר בהצללה טבעית, וכחות, אם בכלל, בהצללה מלאכותית. מכל מקום, דוח זה אינו מתיימר לכמת אותן, אלא מבצע כימות ראשוני ביחס לשלושת סוגי התועלות שהוזכרו לעיל.

הצללה הינה גורם חשוב שבא לידי ביטוי בהכוונה תכנונית בישראל, ואף במדינות אחרות שבהן שיעור הסכנה הנובע מנזקי חשיפה לשמש כתוצאה מקרינה אולטרה-סגולית הוא גבוה. יחד עם זאת, להצללה ישנן עלויות אשר מטבע הדברים מתנגשות עם מטרות נוספות שהממשלה שואפת לקדם. על מנת להצדיק השקעה ממשלתית מסוימת, יש צורך בביצוע ניתוח עלות-תועלת (Cost Benefit Analysis), וזאת בכדי להראות שעל כל שקל של עלות מתפתחת תועלת גבוהה יותר.

בדוח הנוכחי ננסה לעמוד על המשמעות הכלכלית של צמצום סרטן העור, של העלייה בתדירות ובמשך הפעילות הגופנית, ושל התועלת כתוצאה מספיחת $PM_{2.5}$. תועלות אלו יושוו לעלויות של הצללה מלאכותית (כגון קולונדות) וטבעית (כגון עצים). לשם כך ערכנו סקירת ספרות שיטתית ויישמנו את עקרון העברת התועלות לישראל כיום.

סרטן עור | סרטן העור אינו נמנה בין סוגי הסרטן הנפוצים ביותר או אלו עם אחוזי הישרדות נמוכים. אולם סרטן זה נובע גם מהתנהגות פרטים, שאם נשכיל לשנותה ניתן יהיה לצמצם את ההשלכות של מחלה זו. ראוי להדגיש כי סרטן העור נגרם משילוב של גורמים כגון רקע גנטי, גורמים סביבתיים וגורמים התנהגותיים. ובכן, למדינה יש את היכולת להשפיע על התנהגות הפרט, בין אם בהדרכה להתנהגות בריאה יותר ובין אם באספקה של תשתית ציבורית התומכת במניעה ובהתמודדות עם הסיכון הנובע מחשיפה לגורמי המחלה.

בשנת 2015 אובחנו 1,674 חולים במלנומה של העור, סוג סרטן העור המשמעותי ביותר¹. אמנם בשנת 2015 מתו 185 אנשים מהמחלה, אך ככלל, על פי הדוח, אחוז ההישרדות המשוקלל של המחלה לאורך 5 שנים הנו 89.45%. בנוסף, ישנן עלויות ישירות של סרטן העור, הן בטיפול עבור השורדים והן עבור אלו שלא.

אימון גופני | אימון גופני תדיר וקבוע עשוי לחזק את המערכת החיסונית ולמנוע מחלות כרוניות רבות - המכונות "מחלות שפע" - כגון מחלות לב, מחלות כלי-דם (כמו שבץ), סוכרת מסוג 2, סרטן המעי הגס, סרטן השד והשמנת יתר (Katzmarzyk et al. 2000). הפעילות הגופנית מסייעת גם לשיפור הבריאות הנפשית, שכן היא מסייעת במניעת לחץ נפשי ודיכאון, בשימור הדימוי העצמי הגבוה, ובשיפור המשיכה המינית ודימוי הגוף שיש לאדם. פעילות גופנית עשויה לסייע בצמצום השפעות מזיקות של השמנת יתר, שמתרחשת לרוב בילדות ובגיל מבוגר, כך שגם אדם בעל משקל גבוה יכול ליהנות מהשפעות מטיבות של פעילות גופנית (Ubido et al.).

¹ https://www.health.gov.il/PublicationsFiles/Melanoma_13062018.pdf

2010). בנוסף, פעילות גופנית יכולה לסייע בגמילה מעישון. חוסר פעילות גופנית אובחן כגורם המוות הרביעי בעולם (Kohl et al. 2012), כאשר בממוצע כ-8% ממקרי המוות קשורים בצורה זו או אחרת לתופעה; זאת ועוד, בחלק מהמקרים, כגון מחלות איסכמיות (חוסר אספקה של דם), ההיארעות יכולה להגיע אף ל-30%. הנתונים מצביעים על כך ש-31% מהאוכלוסייה בעולם איננה מגיעה לרף המינימלי המומלץ לפעילות גופנית (Hallal et al. 2012). אומדן כלכלי מצביע על תועלת מפעילות גופנית, אשר נעה בין 180 דולר באירופה ל-285 דולר בצפון אמריקה, לשנה לנפש (Scarborough, 2011).

קיימות שתי דרגות של פעילות גופנית, אשר נמדדות בדקות שבועיות. הרמה המינימלית המומלצת היא 150 דקות שבועיות, ובכדי לנצל את מירב התועלות של הפעילות הגופנית מומלץ להכפיל את הכמות עד ל-300 דקות בשבוע. ככלל, מומלץ לבצע פעילות גופנית פעמיים בשבוע לכל הפחות, וחמש פעמים לכל היותר.

הצללה אפוא יכולה להוות גורם משיכה לפעילות גופנית, כגון הליכה. הבחירה לבצע הליכה בחוץ תלויה, בין השאר, בקיומו או אי-קיומו של צל. הדוח הנוכחי ישתמש בסקירת הספרות ככלי שעל בסיסו ניתן יהיה לכמת את התועלת הכלכלית הכוללת של הפעילות ליחידת זמן.

ספיחת $PM_{2.5}$ | חלקיקים עדינים מסוג $PM_{2.5}$ הוכחו כקשורים לתופעות בריאותיות, אשר משפיעות הן על תחלואה והן על תמותה מוקדמת (Pope et al. 2018). כך, למשל, עלייה בריכוז של 10 מ"ג למ"ק הוזכרה כקשורה לעלייה של 6% ו-34% בהתייחס לתמותה כללית ותמותה ממחלות לבביות בהתאמה. כמו כן, עלייה בריכוז של 10 מ"ג למ"ק הוזכרה גם כגורם לעלייה בסיכון של 11% לסרטן ריאות (Huang et al. 2017).

יתרון ייחודי של הצל בהיבט הבריאותי, אשר מקורו בעצים, נובע מהתועלת הנוספת שצומחת כתוצאה מספיחת $PM_{2.5}$. יתרה מכך, היות שענפים מאופיינות בריכוז גדול של אוכלוסייה, כך גם רמת הספיחה של יחידת מזהם גבוהה יותר מאשר באזורים פתוחים מחוץ לעיר. בדוח הנוכחי נעשה שימוש בספרות העולמית בכדי למצוא את התועלת הפיזית הכרוכה בהצללה טבעית, ואת התועלת הזו נכמת על פי ערך ליחידת מזהם הנחשב לערך המקובל בישראל בהתאם להחלטת המשרד להגנת הסביבה. פרט להפחתת זיהום של $PM_{2.5}$, הוספנו גם את המזהמים NO_2 , O_3 ו- SO_2 .

המשך הדוח יהיה כדלהלן: ראשית, תבוצע סקירה של המתודולוגיה לכימות העלויות השונות להצללה, ובעיקר את התועלות של כל אחד משלושת המרכיבים שהוזכרו לעיל. לאחר מכן תבוצע סקירה של הממצאים לגבי כל אחד מהמרכיבים של התועלות והעלויות. בהמשך יבוצע ניתוח עלות-תועלת של הצללה לכל אחת מאפשרויות הצללה: טבעית או מלאכותית. לבסוף יסוכמו הממצאים ואת הדוח כולו.

מתודולוגיה

דרך אומדן העלויות

עלויות ההצללה הינן העלויות הכרוכות בהקמה ובתחזוקה של תשתית הצללה מלאכותית או עלות הכנת התשתית לנטיעת העצים ותחזוקתם בעבור הצללה טבעית. אומדן העלות נלקח ממקרי בוחן הנוגעים לכל אחת מאפשרויות ההצללה.

הצללה מלאכותית והצללה טבעית:



איור 1: דוגמה להצללה על ידי קולונדה

1. **קולונדות:** שדרות עמודים מקורות בחזית מבנים. העלויות נמדדו בעזרת קבלן העוסק בפרויקטים בקנה מידה גדול לנדל"ן מגורים ומסחרי. דוגמה לקולונדה ניתן לראות באיור 1.



איור 2: הצללה על ידי קונסטרוקציה מלאכותית

2. **קונסטרוקציה מלאכותית:** מגוון רחב של פתרונות הצללה, החל מעמודים ויריעת בד, ועד מבנים המשלבים קירות בטון וגגות העשויים מפנלים סולריים. העלות חושבה בעזרת מיצוע נתונים ממקרי בוחן של פרויקטים להצללה מלאכותית באוסטרליה. דוגמה להצללה בעזרת קונסטרוקציה מלאכותית ניתן לראות באיור 2.



איור 3: הצללה טבעית על ידי שדירת עצים

3. **הצללה טבעית:** הצללה טבעית נעשית באמצעות נטיעת עצים לאורך רחוב. עבור האינפורמציה בדבר העלות הרלוונטית בישראל, נעזרנו בגורם במשרד הבינוי והשיכון לו ניסיון בפרויקטים מהסוג הזה. דוגמה להצללה טבעית מוצגת באיור 3.

סוגי תועלות

התועלות מהצללה נובעות בעיקרן מהפחתת תחלואה ותמותה. על כן, התועלת ניתנת על ידי הפחתת הנוזק שכרוך בתחלואה ובתמותה מוקדמת. כך, לדוגמה, אומדן העלות הכלכלית של סרטן עור הינו כ-800 אלף ש"ח - כלומר למניעת מקרה סרטן עור אחד יש ערך כלכלי של כ-800 אלף ש"ח. אולם מובן שהפחתת הסיכון לסרטן עור אמורה להיות מחושבת על ידי שקלול ערך הסימפטום בשינוי בהסתברות. הפחתת סיכון נעשית על ידי פעולה מסוימת, למשל פרויקט הצללה.

התועלות, או לחילופין הפחתת העלויות בגין תחלואות, מתחלקות לשתי קטגוריות עיקריות (OECD, 2011): עלות ישירה למערכת הבריאות וגישת ערך חיי אדם ושנת חיים מתואמת (DALY-VSL).

1. עלות ישירה למערכת הבריאות

העלות הישירה למערכת הבריאות כוללת את כל ההוצאות הישירות הקשורות בתחלואה. לדוגמה: תקורות בתי חולים (חלק יחסי), רופאים ואחיות (פרטי וציבורי), תרופות, ניתוחים, מחקר ועוד (Lindhjem et al. 2011).

2. גישת ערך חיי אדם ושנת חיים מתואמת VSL-DALY

גישת ערך חיי אדם אומדת את שווי החיים - Value of Statistical Life (VSL). נהוג לבצע את אומדן שווי חיי האדם בעזרת סקרי WTP (Willingness To Pay), הבודקים נכונות לשלם בעבור הורדת הסיכון מהשתתפות בתרחיש הכולל פגיעה בריאותית ו/או סכנת חיים (Lindhjem et al. 2011).

עד שנות ה-60 הגישה המקובלת הייתה לאמוד מניעת מיתות ו"הצלת" פוטנציאל הייצור לכלכלה, סכום זרם ההכנסות של הפרט, ושימוש בשיעור ההיוון המתאים בכדי לחשב ערך נוכחי. אולם חישוב זה אינו לוקח בחשבון אובדן הנאה/פנאי, שנאת סיכון והעדפות אחרות.

בכדי להתגבר על החיסרון הזה החל השימוש ב-WTP (willingness to pay), כלומר ניסיון לאמוד את שווי חיי אדם דרך נכונותם של הפרטים לשלם בעבור הפחתת החשיפה לסיכון. הדרך המקובלת ביותר כיום הינה לחשב את ערך החיים, אשר נגזר מערך הפרמיה אותה מוכנים הפרטים לשלם לטובת הפחתת הסיכון מפני פגיעה בתאונת דרכים, מחלות וכגומים אחרים (Begg et al. 2007).

משתנה נוסף בו נעשה שימוש הנוגע לשיטה זו, הינו שווי שנת חיים מתואמת (DALY, Disability Adjusted Life Year). שנת חיים מתואמת נעה בין הערכים 0 ל-1, כך שבמידה והאדם בריא באופן מלא, שנה מחיינו שווה לשנת חיים מתואמת. על פי גישה זו, הערך הכלכלי של שנת חיים של אדם בריא שווה יותר מזו של אדם חולה. לחילופין ניתן לומר, באופן גס, שמחלה הפוגעת ב-50% מאיכות החיים של אדם למשך שנתיים גורעת ממנו שנת חיים מתואמת (DALY) אחת (Begg et al. 2007).

כיוון שכל תחלואה מגלמת בתוכה אובדן של שנות אדם מתואמות, נדרש חישוב המבצע מעבר בין ערך שווי חיים לערכה של שנת חיים מתואמת. בכדי לבצע חישוב זה עשינו שימוש בערך ה-VSL ממחקר של ה-OECD המרכז מחקרים רבים האומדים את שווי חיי אדם VSL בשיטת WTP, השווי החציוני של חיי אדם על פי מחקר זה הינו 2.378 מיליון דולר, שהם 368 אלף ש"ח לשנת חיים מתואמת (DALY) בהתאם למחירי ישראל בשנת 2018 (Begg et al. 2007).

ערך ה-DALY חושב על ידי היוון ערך ה-VSL לערך נוכחי לפי 40 שנה (40 תקופות) בריבית היוון של 3%. 40 תקופות הינן הערכה ליתרת חיים ממוצעת לאדם. מקובל להשתמש בליתרת חיים ממוצעת של 40 שנה, כיוון שערכי ה-VSL נאספים לרוב משאלונים הנוגעים להפחתת החשש מפני פגיעה בתאונת דרכים. תאונות דרכים הינן גורם הפוגע בכלל הגילאים באוכלוסייה (Lindhjem et al. 2011).

סיכום אופן חישוב שנת חיים מתואמת, מעבר מ-VSL ל-DALY

1 | אומדן VSL מתאים.

2 | התאמות שע"ח ואינפלציה.

3 | היוון ערך ה-VSL (ריבית 3%, 40 שנה).

דרך אומדן התועלות

כפי שנאמר לעיל, התועלות מהצללה נובעות מהפחתת תחלואה ותמותה מוקדמת. ישנן שלוש תועלות בריאותיות מרכזיות בהן בחרנו להתמקד בהצללה:

הפחתת הסיכון לסרטן עור על ידי צמצום החשיפה לשמש: מחקרים מוכיחים כי לשעות החשיפה הנצברות לאורך החיים ישנה השפעה מובהקת על הסיכוי לחלות בסרטן עור. הגדלת היצע הצל, אם כן, תאפשר את הורדת החשיפה המצטברת לשמש (Krickler et al. 2007, Vallejo-Torres et al. 2013).

הפחתת החשש למגוון תחלואות באמצעות תמריץ פעילות גופנית: למעבר של אדם לא פעיל גופנית למצב פעיל (כ-150 דקות שבועיות) ישנה תועלת משמעותית. ההנחה היא שיצירת מקומות מוצלים תתמרץ את הסובבים לקיום פעילות גופנית - בין אם מדובר במקבלי ההחלטות בבתי הספר או בשינוי העדפות של תושבים באשר לאופן ההגעה לעבודה (England report, 2007).

הפחתת מזהמים באמצעות הצללה טבעית: הצללה בעזרת עצים תורמת גם להפחתת מזהמים באוויר. בדומה לתועלות המוזכרות מעלה, גם להפחתת המזהמים נודע ערך כלכלי (Nowak et al. 2014).

סרטן עור

תחשיב חשיפה לשמש

תחשיב החשיפה לשמש מנסה לאמוד את שעות החשיפה המצטברות של אדם לאורך חייו ביחס לחשש שיחלה בסרטן עור. החישוב לוקח בחשבון רמה נורמטיבית של חשיפה לשמש - שהיא כמות יחידות קרינה מצטברות לאורך חיים - אשר לה אין השפעה משמעותית על תחלואת סרטן עור. בהשוואה לרמה הנורמטיבית, חושבה כמות קרינה מצטברת לה יש השפעה מובהקת על החשש לתחלואת סרטן עור (Krickler et al. 2007).

הנתונים עושים שימוש ביחידות קרינה, ולא בשעות חשיפה לשמש, כיוון שיחידות קרינה הן מספר אבסולוטי ואינן תלויות זמן ומקום. המדד אליו נתייחס הינו אומדן הקרינה ביחידות (KJ/m^2).

בהמשך תוצג המרה של יחידות קרינה לכמות יומית של שעות חשיפה לשמש. חשוב להדגיש שיחס הקרינה המצטברת לשעות חשיפה לשמש תלויה ברמת הקרינה ברגע נתון. ישנו הבדל מהותי ברמת הקרינה בין חשיפה לשמש בשעות הצהריים ובין שעות הבוקר המוקדמות או הערב.

הטבלאות הבאות מציגות טווחי קרינה נצברים בשנה, כמות חשיפה לאורך שנה ממוצעת ביחידות קרינה (KJ/m^2), ואת יחס הסיכונים (OR-odds ratio) לחלות במלנומה. נציין שישנו הבדל בהשפעת הקרינה בין ילדים ומבוגרים, שכן לילדים רגישות גבוהה יותר.

יחס קרינה ותחלואה ילדים

יחסי הקרינה והתחלואה הנגזרת עבור ילדים ומבוגרים מוצגים בטבלאות 1 ו-2 בהתאמה (Kricger et al. 2007), (IARC, France, 2005).

טבלה 1: טווח קרינה ותחלואת ילדים (בעשור הראשון לחייהם)

יחס סיכונים (OR) לחלות	טווח קרינה מצטברת ביחידות KJ/m^2 , שנת חיים אחת
1.0	3.1-7.4
1.81	7.4-10.2
1.78	10.2-11.7
2.10	11.7-21.2
	ממוצע קבוצה ראשונה (יחס 1) 5.2
1.9	ממוצע קבוצה שנייה 8.8
1.9	תוספת יח' קרינה בין קבוצה ראשונה לשנייה 3.6

טבלה 2: טווח קרינה ותחלואה מבוגרים

יחס סיכונים (OR) לחלות	טווח קרינה מצטברת ביחידות KJ/m^2 , שנת חיים אחת
1.0	3.2-7.6
1.46	7.6-10.6
1.45	10.6-11.7
1.51	11.7-22.2
	ממוצע קבוצה ראשונה (יחס 1) 5.4
1.5	ממוצע קבוצה שנייה 9.1
1.5	תוספת קרינה בין קבוצה ראשונה לשנייה 3.7

על פי הטבלאות המוצגות מעלה, בקרב ילדים הגדלת הקרינה השנתית המצטברת ב-3.6 יחידות KJ/m^2 תגדיל את החשש (OR) למלנומה ב-90%. בקרב מבוגרים, לעומת זאת, הגדלת הקרינה השנתית המצטברת ב-3.7 יחידות KJ/m^2 תגדיל את יחס הסיכונים (OR) לחלות במלנומה ב-50%?

הטבלה מציגה יחס חשיפה מצטברת לשמש אל מול החשש לתחלואה. תצפיות המחקר הראו שאין משמעות גדולה בין יחס התחלואה של הקבוצה השנייה והשלישית, כך שהתגלה במקרה כי החשש לתחלואה של הקבוצה השנייה נמוך במעט מהחשש של הקבוצה השלישית.

בכדי להימנע מבעיות לינאריות בחישוב, חילקנו את החשש לתחלואה לשתי קבוצות. הקבוצה הראשונה בעלת חשש נורמלי ($\text{OR}=1$) לסרטן עור, ואילו הקבוצה השנייה הינה הממוצע של טווח הקרינה בין קבוצות 2-4 (יחס תחלואה גבוה מאחד, כמוצג בטבלה).

אומדן השפעת ההצללה על תועלת הנובעת מהפחתת החשש למלנומה

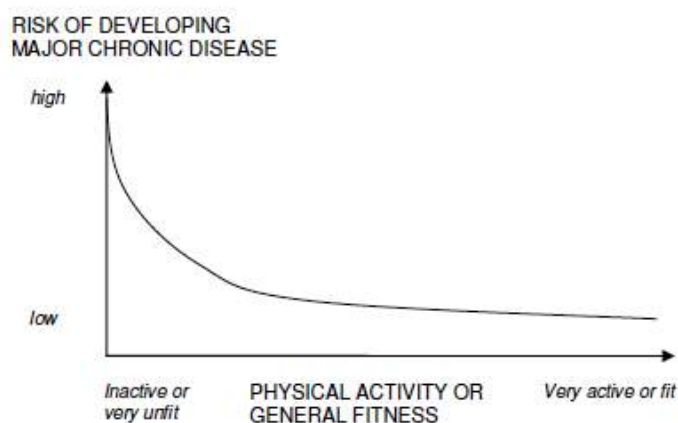
בכדי לאמוד את הנזק הנגרם מקרינת השמש, או לחילופין את התועלת הנובעת מיצירת צל, אנו מחשבים את כמות יחידות הקרינה השנתיות אותן יש להפחית בזכות ההצללה בכדי להחזיר את מספר היחידות לנורמה - כלומר, את הסיכוי של אותו אדם לסבול ממלנומה. החזרת החשש לתחלואה לנורמה הינה התועלת על פי חישוב זה. בפרק הבא נציג את התוצאה במונחי תועלת כלכלית.

פעילות גופנית

לפעילות גופנית תועלת גבוהה, המהווה את החלק היחסי הגדול ביותר מבין התועלות הנובעות מהצללה. לפעילות גופנית תועלת שולית פוחתת; כלומר, אדם שלא פעיל כלל יושפע בצורה המרבית מפעילות גופנית נוספת. בכדי שאדם יוגדר כפעיל עליו לבצע חמישה ימי פעילות בשבוע במשך 30 דקות כל אחד (150 דקות שבועיות). מעבר למשך זמן זה התועלת דועכת ואינה משמעותית, כפי שניתן לראות באיור הבא.

2 השפעת הקרינה על אוכלוסיית המבוגרים מעל גיל 40 אינה מראה מובהקות, הנתונים מתייחסים למבוגרים עד גיל 40

איור 4: התועלת השולית של פעילות גופנית כוחתת משמעותית



מקור: Valuing the benefits of cycling A report to Cycling England May 2007

בכדי שנוכל לקשור את התועלת מפעילות גופנית להצללה, עלינו להניח שהאדם בחר לבצע פעילות גופנית בזכות ההצללה וכי אדם זה לא הגיע למכסת 150 הדקות השבועיות.

* החישובים שיוצגו בפרקים הבאים ייקחו בחשבון את שיעור האנשים המבצעים את הפעילות בזכות ההצללה, ושיעור האנשים - מתוך קבוצה זו - שזקוקים לפעילות גופנית.

הורדת $PM_{2.5}$ ומזהמים נוספים

מלבד התועלת מהפחתת הסיכון לסרטן עור והתועלת מפעילות גופנית, להצללה טבעית ישנה תועלת נוספת בהפחתת מזהמים באוויר. העלים בעצים מפחיתים את כמויות המזהמים, כך שמיפתח העלים, השטח אותו מכסים העלים, הוא שמשפיע על גודל האפקט שבהפחתת המזהמים. גודל האפקט נמדד בהפחתת גרם של חומר מזהם ביחס למ"ר של מיפתח עלים (Nowak et al. 2014).

ממצאים

עלויות הצללה שונות

הצללה מלאכותית:

העלות הכוללת של קולונדות נעה בין 800-1,000 ש"ח למ"ר.

במחקר המציג דוגמאות של פרויקטים להצללה מלאכותית באוסטרליה, נמצא שהעלות הממוצעת למ"ר הינה 1,150 ש"ח (Report, NSW Australia, 2015, נספח 1).

הצללה טבעית:

עלות הצללה טבעית עומדת על בין 6,000-9,000 ש"ח לעץ, המכסה בבגרותו קוטר של כ-7 מטר, שהם כ-300 ש"ח למ"ר (משרד הבינוי והשיכון, 2018).

העצים מגיעים לגודלם הייעודי לאחר 8 שנים, ואמורים לספק צל באיכות של 80%. בחישובי העלות-תועלת בהמשך, נניח גידול לינארי בהצללה.

תוצאות אלו מסוכמות בטבלה 3 להלן.

טבלה 3: עלות למ"ר של אמצעי הצללה שונים

עלות למ"ר בש"ח	אמצעי הצללה
900	קולונדות
1,150	תשתיות מלאכותיות
1,000	שורת עצים (מטר רץ)

בשונה מהצללה מלאכותית, אנו מתייחסים לעלות ההצללה הטבעית במטר רץ (במקום מ"ר), כיוון שזהו הנתון הרלוונטי לפרויקטים המיועדים - הצללת שבילי הליכה ואופניים ברחובות. נחזור לנקודה זאת בדוגמה בפרק הבא אשר דנה בהצללה טבעית.

תועלת מהפחתת סרטן עור

גישת ערך חיי אדם ושנת חיים מתואמת (DALY ו-VSL)

בהמשך לאמור בעמוד 9 (שנת חיים מתואמת שווה 368 אלף ש"ח), כאשר על פי גישה זו תחלואת מלנומה גורעת בממוצע 2.18 שנות אדם מתואמות המקבילות ל-802 אלף ש"ח לערך בממוצע עבור כל מקרה בודד (Begg et al. 2007, Vallejo-Torres et al. 2013).

הטבלאות הבאות מציגות את שנות החיים המתואמות הנגרעות כתוצאה ממלנומה, וסרטן עור שאינו מלנומה (טבלה 4), ואת הנזק הכלכלי הכרוך בכל תחלואה (טבלה 5).

טבלה 4 שנות חיים מתואמות הנגזלות כתוצאה מסרטן עור

אוכלוסייה	נשים	גברים	אנשים
מלנומה	1.62	2.60	2.18
סרטן עור שאינו מלנומה	0.01	0.01	0.01

טבלה 5: עלות מצטברת לתחלואה

אוכלוסייה	נשים	גברים	אנשים
מלנומה	597,124	957,399	801,901
סרטן עור שאינו מלנומה	3,425	5,381	4,555

תועלת ישירה

העלות השנתית המוערכת של מלנומה למערכת הבריאות בישראל הינה 265 מיליון ש, שהם כ-11 אלף ש לחולה (Tinghog et al. 2008, Vallejo-Torres et al. 2013, Hoorens et al. 2016). (נספח 2).

בחישובי התועלת, העלות המיוחסת לסרטן עור הינה הסכום של אובדן שנות החיים המתואמות והעלות הישירה למערכת הבריאות.

חישוב תועלת הפחתת חשש לסרטן עור

חישוב התועלת מהפחתת החשש לסרטן עור לוקח בחשבון את כמות שעות החשיפה המצטברות באומדן שנתי עבור הנורמה, ובעבור אלו הנחשפים מעבר לנורמה. התועלת אותה אנו מנסים לאמוד היא זו הנובעת מהחזרת אנשים לרמות החשיפה הנורמליות, בעזרת הצללה, לאחר שחוו רמות חשיפה שמעבר לנורמה.

בכדי לחשב את מספר שעות החשיפה לשמש היומיות הדרושות, המגדיל את רמת הסיכון לסרטן עור, נידרש לעבור מיחידות SED^3 לשעות חשיפה לשמש. לצורך כך נשתמש בטבלה 6 המוצגת להלן.

3 יחידות ה SED standard erythemal dose הינן יחידות קרינה השוות ל 0.001 יחידות KJ/m^2

טבלה 6: יחס יחידות SED וזמן חשיפה לשמש

אינדקס UV	SED/שעה	עוצמת קרינה	משך זמן חשיפה ליחידת SED (דק')
1	1	חלשה	140
2	2	חלשה	70
3	2.5	בינונית	45
4	3.5	בינונית	35
5	4.15	חזקה	30
6	5	חזקה	25
7	6	חזקה מאוד	20
8	7	חזקה מאוד	18
9	8.5	קיצונית	16
10	9.5	קיצונית	14
11	10.5	קיצונית	12

מקור: Exposure to artificial UV radiation and skin cancer, IARC 2005S

בכדי לבצע את המעבר, נניח יחס SED לשעה המשקף חשיפה לשמש בשעות עם קרינה גבוהה (יחס 8.5).

* שימוש ברמות קרינה מאפשר את אומדן נזקי השמש ללא תלות זמן ומקום, שכן רמות הקרינה משתנות בהתאם לעונה, שעה ומיקום.

** רמות SED לשעה גבוהות בשעות הצהריים ונמוכות בשעות הערב והבוקר המוקדמות. כך, למשל, הטבלה הבאה מציגה רמות SED גבוהות. על בסיס נתונים אלו נעבור לסקור מספר דוגמאות. הראשונה תדון בהצללה מלאכותית ותועלתה לגבי ילדים (לדוגמה, בית ספר).

דוגמה 1 | יחס חשיפה אצל ילדים:

טבלה 7: נתונים מספריים בנוגע ליחס חשיפה אצל ילדים

14.4	כמות קרינה נורמה ליום אחד ביחידות SED
8.5	יחס SED/Hour
1.7	כמות שעות חשיפה יומית נורמה
1.9	יחס תחלואה
1.15	מספר שעות יומיות מעבר לרמת הנורמה בשמש בכדי להגיע ליחס תחלואה

הטבלה המוצגת מעלה, מתארת את רמות החשיפה ליום אחד בקרב הנורמה (רמות חשיפה שאינן מגדילות את החשש לסרטן עוד באופן מובהק). המשתנה יחס יחידות הקרינה ושעות החשיפה מוצג בשורה השנייה. השורה השלישית הינה תוצר של רמת הקרינה ברגע נתון (8.5 בחישוב שלנו), המציגה את שעות החשיפה היומית מעבר לשעות הנורמה שידילו את סיכוי התחלואה (המוצג בשורה הרביעית)⁴.

הטבלה הבאה מפרטת את דרך החישוב בכדי להגיע לשווי החיסכון השנתי לילד כתוצאה מהחזרתו לחשיפה נורמלית.

טבלה 8: ילדים - התועלת השנתית בגין החזרת החשש לתחלואה לנורמה

1.15	מספר שעות חשיפה ביום מעבר לנורמה
1.9	מגדיל חשש לחלות בסרטן כי
57.5	עלות שנתית מלנומה לאדם בישראל (ש)
109.3	עלות שנתית לאדם במקרה של חשיפה מוגברת (ש)
51.8	חסכון מהצללה "שנתית" לאדם וחזרה לחשיפה נורמלית (ש)

על פי דוגמה זו, בעזרת הצללה ניתן להפחית את שעות החשיפה שמעבר לנורמה; כפועל יוצא, ניתן יהיה להחזיר את החשש לתחלואה אל הנורמה, ומבחינה כלכלית להחזיר את העלות השנתית לאדם בישראל. כפי שניתן לראות, התועלת הנאמדת הינה 51.8 ש לשנה עבור כל ילד שיחזור לרמות החשיפה הנורמליות בעזרת הצללה.

דוגמה 2 | יחס חשיפה אצל מבוגרים:

נעבור עתה לדוגמה נוספת של הצללה מלאכותית, אולם הדגש הפעם יהיה על התועלת לאוכלוסייה מבוגרת. טבלאות 9 ו-10 מתארות את יחס החשיפה והתועלת השנתית לאוכלוסייה זו בהתאמה.

טבלה 9: יחס חשיפה אצל מבוגרים

14.80	כמות קרינה נורמה ליום אחד ביחידות SED
8.5	יחס SED/Hour
1.74	כמות שעות חשיפה יומית נורמה
1.47	יחס תחלואה
1.20	מספר שעות יומיות מעבר לרמת הנורמה בשמש בכדי להגיע ליחס תחלואה

4 הנתונים ויחס התחלואה נלקחו מפרק 2.3.1.

טבלה 10: תועלת שנתית לאדם מקרב האוכלוסייה המבוגרת

1.2	מספר שעות חשיפה ביום מעבר לנורמה
1.47	מגדיל סיכוי ב
57.52	עלות שנתית מלנומה לאדם בישראל (ש)
84.55	עלות שנתית לאדם במקרה של חשיפה מוגברת (ש)
27.03	חסכון מהצללה "שנתית" לאדם וחזרה לחשיפה נורמלית (ש)

במקרה זה התועלת היא נמוכה יותר, מכיוון שההשלכות של חשיפה לשמש אצל ילדים הן משמעותיות יותר. לפיכך, ההערכה היא ששעת הצללה שווה לאדם מבוגר 27.03 ש בשנה.

לסיכום, בקרב ילדים, חשיפה "נורמלית", כזו שאינה משפיעה באופן מובהק על הסיכוי לחלות במלנומה, הינה עד 1.7 שעות בממוצע ליום. חשיפה הגבוהה ב-1.15 שעות ליום בממוצע, תגדיל את החשש לחלות במלנומה פי 1.9 עבור ילדים ונערים בעשור הראשון לחייהם, וכי 1.47 עבור אנשים בעשורים השניים והשלישיים לחייהם.

על פי נתוני האוכלוסייה בישראל, העלות השנתית לילד הינה 57.52 ש בחשיפה "נורמלית", ו-109.28 ש (פי 1.9) בחשיפה הגבוהה, כך שהעלות העודפת מהגדלת החשש למלנומה הינה 51.8 ש בשנה לילד.

עבור גילאים מבוגרים יותר, ובפרט עשורים 20 ו-30, חשיפה מוגברת מעלה את החשש למלנומה פי 1.47 בשנה, המבטאת עלות עודפת של 27.03 ש בשנה לפרט. נדגיש שהעלות השנתית לוקחת בחשבון את אובדן שנות החיים המתואמות למחלה על פני יתרת החיים בכל קבוצת גיל.

תועלת מפעילות גופנית

על פי דוח (2007, אנגליה, SQW), התועלת מפעילות גופנית נעה בין 600 ל-3,433 ש בשנה. תועלת זו היא מקסימאלית עבור אדם העובר ממצב "לא פעיל" ל"פעיל" באופן קבוע (כ-150 דקות בשבוע). התוצאות מפורטות בטבלה הבאה.

טבלה 11: תועלת שנתית מפעילות גופנית כתוצאה מהצללה

קבוצת גיל	16-44	45-64	65+	ממוצע משוקלל
שנות חיים מתואמות מתווספות (ש"ח)	137	1,221	2,971	721
חסכון למערכת הבריאות (ש"ח)	172	172	172	172
תוספת פרודוקטיביות (ש"ח)	290	290	290	290
סה"כ תועלת בשנה (ש"ח)	600	1,684	3,433	1,178

Valuing the benefits of cycling a report to Cycling England May 2007

בכדי לכמת את התועלת מפעילות ספורטיבית הנובעת מהצללה, יש להתחשב בשני משתנים עיקריים:

1 | שיעור המשתמשים בהצללה הזקוקים לפעילות גופנית נוספת: כאמור, לפעילות גופנית תועלת שולית פוחתת, כך שלנהנים מהצללה, העוסקים בפעילות ספורטיבית למעלה מ-150 דקות בשבוע, אין תועלת בריאותית מובהקת ומשמעותית כתוצאה מהשימוש.

2 | שיעור הנהנים מהצללה, המקיימים פעילות ספורטיבית נוספת בזכותה: לדוגמה, בזכות שדרת עצים ברחוב, כ-2,000 איש ביום בוחרים ללכת ברגל לעבודה במקום לעשות שימוש בתחבורה ציבורית. דוגמה נוספת היא שבזכות ההצללה בית ספר מסוים יכול לאפשר פעילות גופנית נוספת בכל יום מחוץ לכיתה.

הטבלה הבאה מתארת תחשיב מקרה בוחן עבור פעילות ספורטיבית:

טבלה 12: דוגמה לחישוב תועלת שנתית מפרויקט להגברת פעילות גופנית

200	גודל הפרויקט (מ"ר)
1,150	מחיר למטר
230,032	עלות הקמה
משתנים	
5	מספר ילדים העושים שימוש יומי למ"ר
0.3	שיעור הצורך בפעילות ספורטיבית נוספת
0.3	שיעור פעילות בזכות ההצללה
599.6	תועלת שנתית מלאה לילד (ש"ח)
54	תועלת שנתית משוקללת לילד (ש"ח)
53,962	תועלת שנתית מהפרויקט (ש)

במקרה בוחן זה אנו מציגים פרויקט הצללה מלאכותית, המכסה 200 מ"ר וכולל שלושה משתנים עיקריים, המשפיעים באופן משמעותי על התועלת הנובעת מפעילות ספורטיבית (מופיעים באדום).

1 | מספר ילדים העושים שימוש יומי במ"ר.

2 | שיעור הזקוקים לפעילות גופנית מבין אילו הנהנים מההצללה.

3 | שיעור הבוחרים בפעילות בזכות ההצללה.

על פי נתוני דוגמה זו, התועלת השנתית המשוקללת לילד, הנובעת מפעילות ספורטיבית, הינה 54 ש, והתועלת השנתית הנובעת מפעילות ספורטיבית בפרויקט כולו הינה 53,962 ש.

הסבר החישוב:

- עלות הפרויקט מחושבת על פי עלות למ"ר כפול הגודל במ"ר.
 - התועלת השנתית לילד מפעילות ספורטיבית, על פי דוגמה זו, מחושבת כך: התועלת השנתית לילד הזקוק לפעילות ספורטיבית (599.6 ש"ח) כפול שיעור הילדים הזקוקים לפעילות (0.3), כפול שיעור הילדים המבצעים פעילות ספורטיבית בזכות ההצללה = 54 ש"ח.
 - התועלת השנתית מחושבת כך: תועלת ממוצעת שנתית לילד (54 ש"ח), כפול מספר הילדים העושים שימוש יומי בהצללה (5), כפול מ"ר בפרויקט (200) = 53,962 ש"ח.
- חשיבות המשתנים שסומנו באדום יכולה לבוא לידי ביטוי בניתוח רגישות אשר במסגרתו ניתן לשנות פרמטר אחד או שניים. הטבלה הבאה מתארת ניתוח רגישות שכזה.

טבלה 13: ניתוח רגישות לדוגמת הפרויקט להגברת הפעילות הגופנית

	1	3	5	7
53,962				
0.1	1,199	3,597	5,996	8,394
0.3	10,792	32,377	53,962	75,547
0.5	29,979	89,937	149,896	209,854

ניתוח הרגישות מציג את התועלת השנתית מהפרויקט, בהתאם למספר הילדים העושים שימוש יומי למ"ר באמצעי ההצללה, ושיעור הילדים הזקוקים לפעילות גופנית וגם מבצעים אותה בזכות ההצללה. על פי הטבלה המוצגת מעלה, המספר 0.3 מייצג שיעור של 0.3 מהילדים שזקוקים לפעילות גופנית, וגם את שיעור הילדים הבוחרים לעשות פעילות בזכות ההצללה. במילים אחרות, התועלת מפעילות גופנית רלוונטית רק ל-9% מהילדים העושים שימוש בהצללה ($0.09=0.3*0.3$).

תרחיש הבסיס שלנו נמצא בטור השני מימין ובשורה השנייה מלמעלה. ניתן לראות את המנעד הגדול של התועלת מפרויקט כזה, אשר תלויה במספר הפרטים שמעורבים בפעילות הגופנית (הטורים) ובשיעורם של אלו הזקוקים לפעילות (שורות). כך, למשל, נניח שהצלחנו למשוך שבעה פרטים לתכנית, כאשר 50% מתוכם היו זקוקים לתוספת פעילות שכזאת. במקרה זה, הרי שהתועלת השנתית מגיעה ל-210 אלף ש"ח לערך לשנה. לעומת זאת, ירידה לפרט בודד, ושיעור השתתפות מוגבר העומד על 10% בלבד, מביא לתועלת של כ-1,200 ש"ח בלבד לשנה.

תועלת ברידת ריכוז מזהמים

כאמור, תועלת הנובעת מהפחתת מזהמים נוגעת להצללה טבעית בלבד. Nowak et al. 2014 אמדו את היחס בין מ"ר של עלים ובין שיעור (גרם בשנה) הפחתת מזהמים באוויר. חישוב הערך למ"ר עלים לוקח בחשבון את היקף ההפחתה בגרם ושווי/ערך הנזק⁵ של כל מזהם, על פי נספח 3. חישוב הנזק מתואר בטבלה הבאה.

טבלה 14: הפחתת נזק מזהמים באוויר ביחס למ"ר עלים⁶

מזהם	שווי גרם ש"ח	הסרה, גרם למ"ר (מפתח עלים)	הסרה שנתיית לעץ (גרם)	הפחתת נזק שנתית למ"ר (ש"ח)	שווי לעץ הפחתת נזק בשנה (ש"ח)
PM _{2.5}	0.14	0.28	10.77	0.040	1.55
NO ₂	0.05	0.70	26.93	0.038	1.48
O ₃	0.06	5.40	207.71	0.019	0.74
SO ₂	0.05	0.34	13.08	0.017	0.67
		סה"כ		0.12	74.44

להלן דרך החישוב המוצג בטבלה:

היקף העלים (מ"ר) מוריד את המזהמים (גרם למ"ר) כמוצג בטבלה (Novak et al. 2014). המחירים/עלויות של אותם מזהמים נלקחו מטבלאות המשרד להגנת הסביבה. הפחתת הנזק בש"ח מחושבת על פי מידת ההפחתה למ"ר של עלים כפול הערך בש"ח של כל אחד מן המזהמים.

לסיכום, התועלת השנתית מהפחתת מזהמים למ"ר של עלים נאמדת ב-12 אגורות, כך שערך ההפחתה לעץ בוגר הינה 4.44 ש"ח בשנה.

5 שווי/נזק לגרם חומר נלקחו מהטבלה של המשרד להגנת הסביבה (לפי ממוצע בין חשמל, תחבורה ותעשייה). <http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/SvivaAir/Pages/AirExternalCost.aspx>

6 הנתונים מתייחסים לתועלות במרחב האורבני

7 שטח העלים לעץ מחושב לפי נוסחת חישוב שטח מעגל, בהתאם לגודלו של עץ בוגר

■ ניתוח עלות תועלת

הפרק יציג שלושה מקרי בוחן. מקרי הבוחן השונים נבחרו בכדי להציג את משתני התועלות בין גיל האוכלוסייה הנהנית וסוג ההצללה, בין אם מלאכותית או טבעית:

- 1 | פרויקט הצללה מלאכותית בקרב אוכלוסיית ילדים.
- 2 | פרויקט הצללה מלאכותית בקרב אוכלוסייה מבוגרת.
- 3 | פרויקט הצללה טבעית בקרב אוכלוסייה כללית.

עלות תועלת הצללה מלאכותית

מקרה בוחן 1 | ילדים:

תיאור המקרה: פרויקט הצללה מלאכותית בבית-ספר בגודל 200 מ"ר. עלות הפרויקט הינה 230,032 ש, המגלמים עלות של 1,150 ש למ"ר.

נתונים והנחות

- שימוש יומי של 5 ילדים למ"ר.
- שיעור הזקוקים לפעילות גופנית נוספת, ושיעור אלו שמבצעים את הפעילות בזכות ההצללה, הינו 30%. נתונים אלו ואחרים מסוכמים בטבלה 15 להלן:

טבלה 15: מקרה בוחן 1 - ילדים

200	גודל הפרויקט מ"ר
1,150	מחיר למ"ר (ש)
230,032	עלות הקמה (ש)
1,000	מספר ילדים העושים שימוש יומי
5	שימוש יומי, ילדים למ"ר
105.73	תועלת שנתית לילד (ש)
105,726	תועלת שנתית מהפרויקט (ש)
11,502	עלות תחזוקה (5%)
3%	ריבית היוון
1,577,988	ערך נוכחי (ש)
41%	תשואה פנימית

ניתוח התוצאות

התועלת השנתית לילד, העושה שימוש יומי במתקן, נאמדת בכ-106 ש. התועלת השנתית מהפרויקט בכללותו, על פי הנתונים המתוארים, הינה 105,726 ש בשנה, המגלמת ערך נוכחי של 1.6 מיליון ש ושיעור תשואה פנימי של 41%.

אופן חישוב שיעור התשואה הפנימי והערך הנוכחי יוסבר להלן, והוא תקף גם לחישובים הבאים במקרי החקר הנוספים:

חישוב הערך הנוכחי ושיעור התשואה הפנימית הינם כלים מקובלים בבחינת השקעות ובבחירה בין השקעות אלטרנטיביות. אופן החישוב מתבצע על ידי יצירת "תזרים מזומנים" - במקרה שלנו, תזרים עלויות ותועלות המוערכות בש"ח על פני 30 שנים. בסרגל הזמן אנו אומדים את "התועלת נטו" מהפרויקט; כך, לדוגמה, בזמן 0 התועלת במקרה בוחן זה תהיה עלות הקמתו (כ-230 אלף ש, בערך שלילי) ובשנה הראשונה והלאה התועלת נטו תהיה התועלת השנתית פחות עלות התחזוקה (כ-94 אלף ש, בערך חיובי).

לאחר יצירת "תזרים התועלות" ניתן לחשב את הערך הנוכחי של ההשקעה, והתשואה על ההשקעה אותה הוא מגלם (תשואה פנימית). שתי נקודות חשובות נוספות לשימוש:

* נעשה שימוש בריבית ההיוון המקובלת (3%).

** פרויקט בעל תשואה פנימית גבוהה מריבית ההיוון הינו פרויקט המוצדק כלכלית, תחת משאבים מוגבלים כמובן. יש לבחור בפרויקט בעל שיעור התשואה הפנימית הגבוה ביותר.

ניתוח רגישות

ניתוח הרגישות מציג את תוצאות התשואה הפנימית של הפרויקט בהתאם לשני משתנים

1 | משתנה אופקי: מספר הילדים העושים שימוש יומי בתשתית ההצללה.

2 | משתנה אנכי: שיעור הזקוקים לפעילות גופנית, נוסף (אותו שיעור) לאלו שמבצעים את הפעילות בזכות ההצללה.

* הערה: ככל שיותר ילדים/אנשים זקוקים לפתרון ההצללה ועושים שימוש בו, כך יותר ויותר תועלות כלכליות נובעות ממנו, ובהתאם התשואה על ההשקעה עולה.

טבלה 16: ניתוח רגישות עבור מקרה בוחן 1 (ילדים)

10	5	3	2	1.5	41%
41%	17%	6%	-1%	-8%	0.05
45%	20%	8%	0%	-6%	0.1
61%	28%	14%	5%	0%	0.2
87%	41%	22%	12%	6%	0.3
123%	59%	33%	20%	13%	0.4

מניתוח הרגישות עולה ששימוש יומי של שני ילדים או יותר למ"ר, ושיעור הצורך בפעילות גופנית, יחד עם ביצוע הפעילות בזכות הצללה, הגבוה מ-20%, מהווים תשואה א-נורמלית גבוהה על ההשקעה בפרויקט הצללה המוצג.

מקרה בוחן 2 | מבוגרים:

מקרה בוחן 2, אוכלוסייה בוגרת

תיאור המקרה: פרויקט הצללה מלאכותית במקום עבודה בגודל 100 מ"ר. עלות הפרויקט הינה 115,016 ש"ח, המגלמים עלות של 1,150 ש"ח למ"ר.

נתונים והנחות

- שימוש יומי של 5 אנשים למ"ר.
- שיעור הזקוקים לפעילות גופנית נוספת, ושיעור אלו שמבצעים את הפעילות בזכות הצללה, הינו 30%. נתונים אלו ואחרים מסוכמים בטבלה 17 להלן.

טבלה 17: מקרה בוחן 2 - מבוגרים

66,514	תועלת שנתית מהפרויקט (ש"ח)	100	גודל הפרויקט (מ"ר)
5,751	עלות תחזוקה (5%)	1,150	מחיר למ"ר (ש"ח)
3%	ריבית היוון	115,016	עלות הקמה (ש"ח)
1,050,934	ערך נוכחי (ש"ח)	500	מספר אנשים
53%	תשואה פנימית	5	שימוש יומי, אנשים למ"ר
		133.03	תועלת שנתית לאדם (ש"ח)

ניתן לראות מהטבלה שהתועלת השנתית לאדם, העושה שימוש יומי במתקן, הינה כ-133 ש. התועלת מהפרויקט בכללותו, על פי הנתונים המתוארים, הינה 66,514 ש בשנה, המגלמת ערך נוכחי של 1.05 מיליון ש ושיעור תשואה פנימי של 53%.

ניתוח רגישות

ניתוח הרגישות מציג את תוצאות התשואה הפנימית של הפרויקט בהתאם לשני משתנים:

- 1 | משתנה אופקי: מספר הילדים העושים שימוש יומי בתשתית ההצללה.
- 2 | משתנה אנכי: שיעור הזקוקים לפעילות גופנית נוספת, לרבות (אותו שיעור) אלו שמבצעים את הפעילות בזכות ההצללה.

טבלה 18: ניתוח רגישות למקרה בוחן 2 (מבוגרים)

	10	5	3	2	1.5	53%
	21%	5%	-5%	-20%		0.05
	29%	10%	0%	-8%		0.1
	59%	27%	13%	5%	-1%	0.2
	111%	53%	30%	17%	11%	0.3
	182%	89%	51%	32%	23%	0.4

מניתוח הרגישות עולה כי שימוש יומי של שלושה אנשים או יותר למ"ר, ושיעור הצורך בפעילות גופנית - יחד עם ביצוע הפעילות בזכות ההצללה - הגבוה מ-20%, מהווים תשואה א-נורמלית גבוהה על ההשקעה בפרויקט ההצללה המוצג.

ניתן גם לראות כי שיעור התשואה הפנימי יכול להגיע ל-182%; וזאת, בהנחה שישנם עשרה אנשים המקיימים פעילות גופנית מוגברת למ"ר, כאשר 40% מהם היו זקוקים לכך. לעומת זאת, ניתן גם לראות שבכמה מקרים שיעור התשואה הפנימי עלול לצנוח ואף להיפך לשלילי.

מקרה בוחן 3 | הצללה טבעית:

תיאור המקרה: פרויקט הצללה מלאכותית במקום עבודה בגודל 100 מ"ר. עלות הפרויקט הינה 115,016 ש, אשר מגלמים עלות של 1,150 ש למ"ר.

נדון כעת בפרויקט הצללה טבעית בשדרת רחוב באורך קילומטר. התחשיב לוקח בחשבון הליכה יומית הלוך וחזור של עוברי אורח, כך שיוכלו לקיים את כמות הזמן המינימלית המומלצת לפעילות גופנית. עלות הפרויקט הינה 1,000,000 ש, המגלמת עלות של 1,000 ש למטר בָּר.

נתונים והנחות:

- שימוש יומי של 5,000 עוברי אורח המבצעים את ההליכה הלוך וחזור.
- שיעור הזקוקים לפעילות גופנית נוספת, ושיעור אלו שמבצעים את הפעילות בזכות ההצללה, הינו 30%.
- התועלות מפתרון ההצללה גדלות בקצב לינארי על פני 8 שנים (משך זמן ההתפתחות של העצים עד להצללה מלאה).

טבלה 19: מקרה חקר 3 - הצללה טבעית

מאפייני הפרויקט	
1,000	עצי רחוב מטר רץ
1,000,000	עלות פרויקט
תועלות	
634	תועלת שנתית מהפחתת מזהמים (ש"ח)
529,979	תועלת שנתית מפעילות ספורטיבית (ש"ח)
28,231	תועלת שנתית מהפרויקט מהפחתת תחלואת סרטן עור (ש"ח)
סיכום	
558,844	סה"כ התועלת השנתית מהפרויקט (עצים בוגרים לאחר 8 שנים) (ש)
69,856	תועלת שנה ראשונה (גידול לינארי) (ש)
3%	ריבית היוון
10,161,296	ערך נוכחי (ש)
27.64%	תשואה פנימית

ניתוח רגישות

ניתוח הרגישות מציג את תוצאות התשואה הפנימית של הפרויקט בהתאם לשני משתנים:

- 1 | משתנה אופקי: מספר האנשים החולפים ברחוב בכל יום.
- 2 | משתנה אנכי: שיעור הזקוקים לפעילות גופנית נוספת, לרבות (אותו שיעור) אלו שמבצעים את הפעילות בזכות ההצללה.

טבלה 20: ניתוח רגישות למקרה חקר 3 - הצללה טבעית

10,000	7,500	2,500	5,000	1,000	27%
3%	-1%		-9%		0.05
11%	7%	-15%	1%		0.1
27%	22%	5%	15%	-11%	0.2
44%	36%	15%	27%	3%	0.3
63%	52%	25%	40%	10%	0.4

מניתוח הרגישות עולה כי שימוש יומי של 2,500 אנשים או יותר למ"ר, ושיעור הצורך בפעילות גופנית, יחד עם ביצוע הפעילות בזכות הצללה, הגבוה מ-20%, מעניקים תשואה א-נורמלית גבוהה על ההשקעה בפרויקט הצללה המוצג.

כמו כן, ניתן לראות כי שיעור התשואה הפנימי עושי להגיע לכ-63%, וזאת במידה ש-10,000 איש עוברים בקטע, כאשר 40% מהם היו זקוקים לפעילות. גם כאן ניתן להבחין ששיעור התשואה הפנימי עשוי די בקלות להגיע לערכים שליליים (כלומר תועלת נקייה שלילית).

סיכום ומסקנות

הדוח הנוכחי דן בהערכה כלכלית של תועלות ועלויות של הצללה. ישנם שלושה פתרונות הצללה עיקריים: קונסטרוקציה מלאכותית, קולונדות והצללה טבעית (עצים). עלויות ההצללה הממוצעות מוערכות בכ-1,000 ש"ח למ"ר עבור הצללה מלאכותית, וכ-1,000 ש"ח למטר ר"ח בעבור הצללה טבעית (המידה הרלוונטית להצללה זו). לעומת זאת, התועלת המצטברת מהצללה יכולה להגיע לאלפי ש"ח בשנה לאדם בודד.

התועלות שנאמדו כתוצאה מהצללה הינן הפחתת מזהמים (בזכות הצללה טבעית בלבד), הורדת הסיכון לסרטן עור ותועלות הנובעות מפעילות ספורטיבית. תועלות אלו כומתו בצורה מוניטארית. התועלת שנמצאה המשמעותית ביותר הינה השפעת ההצללה על הרגלי הפעילות הספורטיבית באוכלוסייה המבוגרת, כאשר זו לבדה יכולה לבטא תועלת כלכלית של אלפי ש"ח בשנה לאדם בודד.

המסקנה החשובה מהדוח היא שלפרויקטים העוסקים בהצללה ישנן תועלות רבות המגולמות בערכים כלכליים גבוהים, המשקפים תשואות של עשרות אחוזים בשנה. החישובים שנעשו במאמר זה הציגו תועלות דומות בין אלו של הצללה מלאכותית לאלו הנובעות מהצללה טבעית. ואולם, יש לזכור שהצללה טבעית מבטאת תועלת מלאה רק לאחר 8 שנים, עד הגעת העץ לכיסוי מלא של עלים. כמו כן, חשוב להדגיש שחישובי התועלת התבססו רק על אלמנטים בריאותיים. זאת ועוד, התועלת מהצללה טבעית לא לקחה בחשבון תועלות אסתטיות, הפחתת חום עירוני ושאר יתרונות של עצים במרחב הציבורי. לגבי מרכיב החום העירוני, יש לציין שבכדי להשפיע על טמפרטורה במרקם אורבני תהליך חישוב התועלת והעלות צריך להיות מבוסס על השקעות מסיביות של הצללה בכל רחבי העיר ולא בחלקים ספורדיים.

חשוב לציין שקיים עוד סוג הצללה, אשר לא תמחרנו את תועלתו לאור המורכבות שבעמידה על ערכו, והוא צל מבנים. הערכה מקדמית מצביעה על עלות נמוכה מאוד (הקמה ותחזוקה), ולכן הוא עשוי להניב תועלות עצומות. התנאי למימוש התועלת הוא תכנון מוקדם מראש של תהליך הבנייה (למשל, על ידי קירוב קו המבנה לרחוב, וכן תכנון גריד כבישים מתאים).

למשתנים המוצגים במאמר יש משקל רב על השפעת התועלות הנובעות מהפרויקט. בכדי להשוות ולתעדף פרויקטים עתידיים ישנה חשיבות רבה בחיזוי ובאומדן משתנים אלו: אוכלוסייה צעירה או בוגרת; האם הפרטים נחשפים שעות רבות לשמש; האם הפרטים ביצעו יותר פעילות ספורטיבית בזכות ההצללה; והאם הפרטים זקוקים לפעילות ספורטיבית. החישובים בדוח הנוכחי התבססו על הערכות קרובות ככל שיכולנו להשיג. יחד עם זאת, ביצענו ניתוחי רגישות לפרמטרים השונים, ואכן ניתן היה להבחין שבחלק ממקרי הבוחן, התועלת מושפעת משמעותית משינויים קטנים למדי בערכים.

לפיכך, כחלק מתוצרי העבודה, באתר משרד הבינוי והשיכון מצורף קובץ אקסל אשר יוכל לשמש ככלי לבחינת והשוואת פרויקטים, כמו גם לשימוש ולתעדוף של פרויקטים פרטניים בערים ובמרחבים שונים בישראל.

- Begg, S., Vos, T., Barker, B., Stevenson, C., Stanley, L., & Lopez, A. D. (2007). The burden of disease and injury in Australia 2003.
- Cycling England (2007). Valuing the benefits of cycling A report to Cycling England.
- Huang, F., Pan, B., Wu, J., Chen, E., & Chen, L. (2017). Relationship between exposure to PM2.5 and lung cancer incidence and mortality: a meta-analysis. *Oncotarget*, 8(26), 43322.
- IARC Working Group on Risk of Skin Cancer and Exposure to Artificial Ultraviolet Light (2005 : Lyon, France)
- Katzmarzyk, P. T., Gledhill, N., & Shephard, R. J. (2000). The economic burden of physical inactivity in Canada. *Canadian Medical Association Journal*, 163(11), 1435-1440.
- Kohl 3rd, H. W., Craig, C. L., Lambert, E. V., Inoue, S., Alkandari, J. R., Leetongin, G., ... & Lancet Physical Activity Series Working Group. (2012). The pandemic of physical inactivity: global action for public health. *The Lancet*, 380(9838), 294-305.
- Krickler, A., Armstrong, B. K., Goumas, C., Litchfield, M., Begg, C. B., Hummer, A. J., ... & Culver, H. A. (2007). Ambient UV, personal sun exposure and risk of multiple primary melanomas. *Cancer Causes & Control*, 18(3), 295-304.
- Lindhjem, H., Navrud, S., Braathen, N. A., & Biaisque, V. (2011). Valuing mortality risk reductions from environmental, transport, and health policies: A global meta-analysis of stated preference studies. *Risk analysis*, 31(9), 1381-1407
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119-129.
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Hoehn, R. (2013). Modeled PM2.5 removal by trees in ten US cities and associated health effects. *Environmental Pollution*, 178, 395-402.
- Pope, C. A., Ezzati, M., Cannon, J. B., Allen, R. T., Jerrett, M., & Burnett, R. T. (2018). Mortality risk and PM 2.5 air pollution in the USA: an analysis of a national prospective cohort. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1-8.
- Tinghög, G., Carlsson, P., Synnerstad, I., & Rosdahl, I. (2008). Societal cost of skin cancer in Sweden in 2005. *Acta dermato-venereologica*, 88(5), 467-473.

- Ubido, J., Lewis, C., Holford, R., & Scott-Samuel, A. (2010). Prevention programmes cost-effectiveness review: alcohol. *Observatory Report Series*, (84).
- Vallejo-Torres, L., Morris, S., Kinge, J. M., Poirier, V., & Verne, J. (2013). Measuring current and future cost of skin cancer in England. *Journal of Public Health*, 36(1), 140-148.


ספרות רקע נוספת לפי נושאים

VSL

- Braathen, N. A. Valuing Mortality Risk Reductions in Regulatory Analysis of Environmental, Health and Transport Policies: Policy Implications.
- Hultkrantz, L., & Svensson, M. (2012). The value of a statistical life in Sweden: A review of the empirical literature. *Health policy*, 108(2), 302-310
- Lindhjem, H., Navrud, S., Braathen, N. A., & Biaisque, V. (2011). Valuing mortality risk reductions from environmental, transport, and health policies: A global meta-analysis of stated preference studies. *Risk analysis*, 31(9), 1381-1407.
- Viscusi, W. K., & Aldy, J. E. (2003). The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world. *Journal of risk and uncertainty*, 27(1), 5-76.

Cost of Melanoma

- Begg, S., Vos, T., Barker, B., Stevenson, C., Stanley, L., & Lopez, A. D. (2007). The burden of disease and injury in Australia 2003.
- Brown, M. L., Lipscomb, J., & Snyder, C. (2001). The burden of illness of cancer: economic cost and quality of life. *Annual review of public health*, 22(1), 91-113.
- Doran, C. M., Ling, R., Byrnes, J., Crane, M., Searles, A., Perez, D., & Shakeshaft, A. (2015). Estimating the economic costs of skin cancer in New South Wales, Australia. *BMC public health*, 15(1), 952.
- Ekwueme, D. U., Guy, G. P., Li, C., Rim, S. H., Parelkar, P., & Chen, S. C. (2011). The health burden and economic costs of cutaneous melanoma mortality by race/ethnicity—United States, 2000 to 2006. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 65(5), S133-e1.

- 
- Giblin, A. V., & Thomas, J. M. (2007). Incidence, mortality and survival in cutaneous melanoma. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery*, 60(1), 32-40.
 - Guy, G. P., & Ekwueme, D. U. (2011). Years of potential life lost and indirect costs of melanoma and non-melanoma skin cancer. *Pharmacoeconomics*, 29(10), 863-874.
 - Morris, S., Cox, B., & Bosanquet, N. (2009). Cost of skin cancer in England. *The European Journal of Health Economics*, 10(3), 267-273.
 - Pil, L., Hoorens, I., Vossaert, K., Brochez, L., & Annemans, L. (2016). The impact of skin cancer in Belgium and the cost-effectiveness of prevention.
 - Rogers, H. W., Weinstock, M. A., Harris, A. R., Hinckley, M. R., Feldman, S. R., Fleischer, A. B., & Coldiron, B. M. (2010). Incidence estimate of nonmelanoma skin cancer in the United States, 2006. *Archives of dermatology*, 146(3), 283-287.
 - Seidler, A. M., Pennie, M. L., Veledar, E., Culler, S. D., & Chen, S. C. (2010). Economic burden of melanoma in the elderly population: population-based analysis of the Surveillance, Epidemiology, and End Results (SEER)-Medicare data. *Archives of dermatology*, 146(3), 249-256.
 - Shih, S. T. F., Carter, R., Sinclair, C., Mihalopoulos, C., & Vos, T. (2009). Economic evaluation of skin cancer prevention in Australia. *Preventive medicine*, 49(5), 449-453.
 - Sinclair, C., & Foley, P. (2009). Skin cancer prevention in Australia. *British Journal of Dermatology*, 161(s3), 116-123.
 - Tinghög, G., Carlsson, P., Synnerstad, I., & Rosdahl, I. (2008). Societal cost of skin cancer in Sweden in 2005. *Acta dermato-venereologica*, 88(5), 467-473.
 - Toy, E. L., Vekeman, F., Lewis, M. C., Oglesby, A. K., & Duh, M. S. (2015).
 - Costs, resource utilization, and treatment patterns for patients with metastatic melanoma in a commercially insured setting. *Current medical research and opinion*, 31(8), 1561-1572.
 - Trakatelli, M., Ulrich, C., Del Marmol, V., Euvrard, S., Stockfleth, E., & Abeni, D. (2007). Epidemiology of nonmelanoma skin cancer (NMSC) in Europe: accurate and comparable data are needed for effective public health monitoring and interventions. *British Journal of Dermatology*, 156(s3), 1-7.
 - Tsao, H., Rogers, G. S., & Sober, A. J. (1998). An estimate of the annual direct cost of treating cutaneous melanoma. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 38(5), 669-680.

- Vallejo-Torres, L., Morris, S., Kinge, J. M., Poirier, V., & Verne, J. (2013). Measuring current and future cost of skin cancer in England. *Journal of Public Health*, 36(1), 140-148.

UV Radiation/Sun Exposure

- Gandini, S., Sera, F., Cattaruzza, M. S., Pasquini, P., Picconi, O., Boyle, P., & Melchi, C. F. (2005). Meta-analysis of risk factors for cutaneous melanoma: II. Sun exposure. *European journal of cancer*, 41(1), 45-60.
- Glanz, K., Buller, D. B., & Saraiya, M. (2007). Reducing ultraviolet radiation exposure among outdoor workers: state of the evidence and recommendations. *Environmental Health*, 6(1), 22
- Krickler, A., Armstrong, B. K., Goumas, C., Litchfield, M., Begg, C. B., Hummer, A. J., ... & Culver, H. A. (2007). Ambient UV, personal sun exposure and risk of multiple primary melanomas. *Cancer Causes & Control*, 18(3), 295-304.
- Lazovich, D., Vogel, R. I., Berwick, M., Weinstock, M. A., Anderson, K. E., & Warshaw, E. M. (2010). Indoor tanning and risk of melanoma: a case-control study in a highly exposed population. *Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers*, 1055-9965.
- Moehrle, M. (2008). Outdoor sports and skin cancer. *Clinics in Dermatology*, 26(1), 12-15.
- Narayanan, D. L., Saladi, R. N., & Fox, J. L. (2010). Ultraviolet radiation and skin cancer. *International journal of dermatology*, 49(9), 978-986.
- Radespiel-Tröger, M., Meyer, M., Pfahlberg, A., Lausen, B., Uter, W., & Gefeller, O. (2009). Outdoor work and skin cancer incidence: a registry-based study in Bavaria. *International archives of occupational and environmental health*, 82(3), 357.
- Solomon, C. C., White, E., Kristal, A. R., & Vaughan, T. (2004). Melanoma and lifetime UV radiation. *Cancer Causes & Control*, 15(9), 893-902.
- Stanton, W. R., Janda, M., Baade, P. D., & Anderson, P. (2004). Primary prevention of skin cancer: a review of sun protection in Australia and internationally. *Health promotion international*, 19(3), 369-378.
- Vajdic, C. M., Krickler, A., Giblin, M., McKenzie, J., Aitken, J., Giles, G. G., & Armstrong, B. K. (2002). Sun exposure predicts risk of ocular melanoma in Australia. *International journal of cancer*, 101(2), 175-182.
- Whiteman, D. C., Stickley, M., Watt, P., Hughes, M. C., Davis, M. B., & Green, A. C. (2006). Anatomic site, sun exposure, and risk of cutaneous melanoma. *Journal of Clinical Oncology*, 24(19), 3172-3177.



UV Radiation Measures and Conversions

- Diffey, B. L. (2002). Sources and measurement of ultraviolet radiation. *Methods*, 28(1), 4-13.

Creating Shade Structures and Costs

- Gies, P., & Mackay, C. (2004). Measurements of the solar UVR protection provided by shade structures in New Zealand primary schools. *Photochemistry and photobiology*, 80(2), 334-339.
- Mackay, C., & Donn, M. (2003). Sunshade design in New Zealand primary schools. In *PLEA 2003 Conference-Proceedings* (pp.143-148).
- Parisi, A. V., Eley, R., & Downs, N. (2012). Determination of the usage of shade structures via a dosimetry technique. *Photochemistry and photobiology*, 88(4), 1012-1015.
- Parisi, A. V., & Turnbull, D. J. (2014). Shade provision for UV minimization: a review. *Photochemistry and photobiology*, 90(3), 479-490.
- Turnbull, D. J., & Parisi, A. V. (2006). Effective shade structures. *Med J Aust*, 184(1), 13-15.

Activity Benefits

- Buehler, R., Pucher, J., Merom, D., & Bauman, A. (2011). Active travel in Germany and the US: contributions of daily walking and cycling to physical activity. *American Journal of Preventive Medicine*, 41(3), 241-250.
- Buehler, R., & Pucher, J. (2012). Cycling to work in 90 large American cities: new evidence on the role of bike paths and lanes. *Transportation*, 39(2), 409-432.
- Cavill, N., Kahlmeier, S., Rutter, H., Racioppi, F., & Oja, P. (2008). Economic analyses of transport infrastructure and policies including health effects related to cycling and walking: a systematic review. *Transport policy*, 15(5), 291-304.
- Fraser, S. D., & Lock, K. (2011). Cycling for transport and public health: a systematic review of the effect of the environment on cycling. *European journal of public health*, 21(6), 738-743.
- Kohl 3rd, H. W., Craig, C. L., Lambert, E. V., Inoue, S., Alkandari, J. R., Leetongin, G., ... & Lancet Physical Activity Series Working Group. (2012). The pandemic of physical inactivity: global action for public health. *The Lancet*, 380(9838), 294-305.

- Lewis, C., Ubido, J., Holford, R., & Scott-Samuel, A. (2010). Prevention programmes cost-effectiveness review. Liverpool Public Health Observatory Report, (https://www.liverpool.ac.uk/media/livacuk/instituteofpsychology/researchgroups/lpho/83_28th_Feb_Physical_activity_and_cost_FINAL.pdf. Accessed 06 Apr 2017).
- Macdonald, B. (2007). Valuing the benefits of cycling. Cycling England, London, England.
- Pringle, A., Cooke, C., Gilson, N., Marsh, K., & McKenna, J. (2010). Cost-effectiveness of interventions to improve moderate physical activity: a study in nine UK sites. *Health education journal*, 69(2), 211-224.
- Pucher, J., & Buehler, R. (2010). Walking and cycling for healthy cities. *Built Environment*, 36(4), 391-414.
- Schilling, J., & Linton, L. S. (2005). The public health roots of zoning: in search of active living's legal genealogy. *American journal of preventive medicine*, 28(2), 96-104.
- Sugiyama, T., Leslie, E., Giles-Corti, B., & Owen, N. (2008). Associations of neighbourhood greenness with physical and mental health: do walking, social coherence and local social interaction explain the relationships?. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 62(5), e9-e9.

Urban Heat

- Potchter, O., Cohen, P., & Bitan, A. (2006). Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Climatology*, 26(12), 1695-1711.
- Dannenberg, A. L., Jackson, R. J., Frumkin, H., Schieber, R. A., Pratt, M., Kochtitzky, C., & Tilson, H. H. (2003). The impact of community design and land-use choices on public health: a scientific research agenda. *American journal of public health*, 93(9), 1500-1508.
- Chen, L., & Ng, E. (2012). Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. *Cities*, 29(2), 118-125.
- Saaroni, H., Ben-Dor, E., Bitan, A., & Potchter, O. (2000). Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel. *Landscape and Urban Planning*, 48(1-2), 1-18.
- Tan, Z., Lau, K. K. L., & Ng, E. (2016). Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. *Energy and Buildings*, 114, 265-274.

- Norton, B., Bosomworth, K., Coutts, A., Williams, N., Livesley, S., Trundle, A., ... & McEvoy, D. (2013). Planning for a cooler future: Green infrastructure to reduce urban heat. Victorian Centre for Climate Change Adaptation Research.
- Lee, I., Voogt, J. A., & Gillespie, T. J. (2018). Analysis and Comparison of Shading Strategies to Increase Human Thermal Comfort in Urban Areas. *Atmosphere*, 9(3), 91.
- Norton, B. A., Coutts, A. M., Livesley, S. J., Harris, R. J., Hunter, A. M., & Williams, N. S. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 134, 127-138.

Trees/Green Spaces

- Agay-Shay, K., Peled, A., Crespo, A. V., Peretz, C., Amitai, Y., Linn, S., ... & Nieuwenhuijsen, M. J. (2014). Green spaces and adverse pregnancy outcomes. *Occup Environ Med*, 71(8), 562-569.
- Escobedo, F. J., Wagner, J. E., Nowak, D. J., De la Maza, C. L., Rodriguez, M., & Crane, D. E. (2008). Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's policy of using urban forests to improve air quality. *Journal of environmental management*, 86(1), 148-157.
- Frank, L. D., Sallis, J. F., Conway, T. L., Chapman, J. E., Saelens, B. E., & Bachman, W. (2006). Many pathways from land use to health: associations between neighborhood walkability and active transportation, body mass index, and air quality. *Journal of the American planning Association*, 72(1), 75-87.
- Mansfield, C., Pattanayak, S. K., McDow, W., McDonald, R., & Halpin, P. (2005). Shades of green: measuring the value of urban forests in the housing market. *Journal of forest economics*, 11(3), 177-199.
- McPherson, E. G., & Biedenbender, S. (1991). The cost of shade: Cost-effectiveness of trees versus bus shelters. *Journal of Arboriculture*, 17(9), 233-241.
- Na, H. R., Heisler, G. M., Nowak, D. J., & Grant, R. H. (2014). Modeling of urban trees' effects on reducing human exposure to UV radiation in Seoul, Korea. *Urban forestry & urban greening*, 13(4), 785-792.
- Orland, B., Vining, J., & Ebreo, A. (1992). The effect of street trees on perceived values of residential property. *Environment and behavior*, 24(3), 298-325.
- Richardson, E., Pearce, J., Mitchell, R., Day, P., & Kingham, S. (2010). The association between green space and cause-specific mortality in urban New Zealand: an ecological analysis of green space utility. *BMC public health*, 10(1), 240.

- Roy, S., Byrne, J., & Pickering, C. (2012). A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(4), 351-363.
- Song, X. P., Tan, P. Y., Edwards, P., & Richards, D. (2017). The economic benefits and costs of trees in urban forest stewardship: A systematic review. *Urban Forestry & Urban Greening*.
- Stigsdotter, U. K., Ekholm, O., Schipperijn, J., Toftager, M., Kamper-Jørgensen, F., & Randrup, T. B. (2010). Health promoting outdoor environments-Associations between green space, and health, health-related quality of life and stress based on a Danish national representative survey. *Scandinavian journal of public health*, 38(4), 411-417.

מקורות מידע כלליים נוספים

- Hallal, P. C., Andersen, L. B., Bull, F. C., Guthold, R., Haskell, W., Ekelund, U., & Lancet Physical Activity Series Working Group. (2012). Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects. *The lancet*, 380(9838), 247-257.
- Kohl 3rd, H. W., Craig, C. L., Lambert, E. V., Inoue, S., Alkandari, J. R., Leetongin, G., ... & Lancet Physical Activity Series Working Group. (2012). The pandemic of physical inactivity: global action for public health. *The Lancet*, 380(9838), 294-305.
- Pope III, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Jama*, 287(9), 1132-1141.
- Pope, C. A., Burnett, R. T., Thurston, G. D., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., & Godleski, J. J. (2004). Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation*, 109(1), 71-77.
- Scarborough, P., Bhatnagar, P., Wickramasinghe, K. K., Allender, S., Foster, C., & Rayner, M. (2011). The economic burden of ill health due to diet, physical inactivity, smoking, alcohol and obesity in the UK: an update to 2006-07 NHS costs. *Journal of public health*, 33(4), 527-535.

נספח 1 | עלויות מקרה בוחן הצללה מלאכותית באוסטרליה

Short report A-Case Study approach to development of Shade in NSW

עלות למ"ר	עלות (ש"ח)	גודל (מ"ר)	
369	58,400	158.46	
1,460	29,200	20	
1,825	87,600	48	
1,622	146,000	90	
898	58,400	65	
669	80,300	120	
1,784	80,300	45	
913	36,500	40	
811	14,600	18	
1,150	65,700	67	ממוצע

נספח 2 | חישוב עלות ישירה סרטן עור

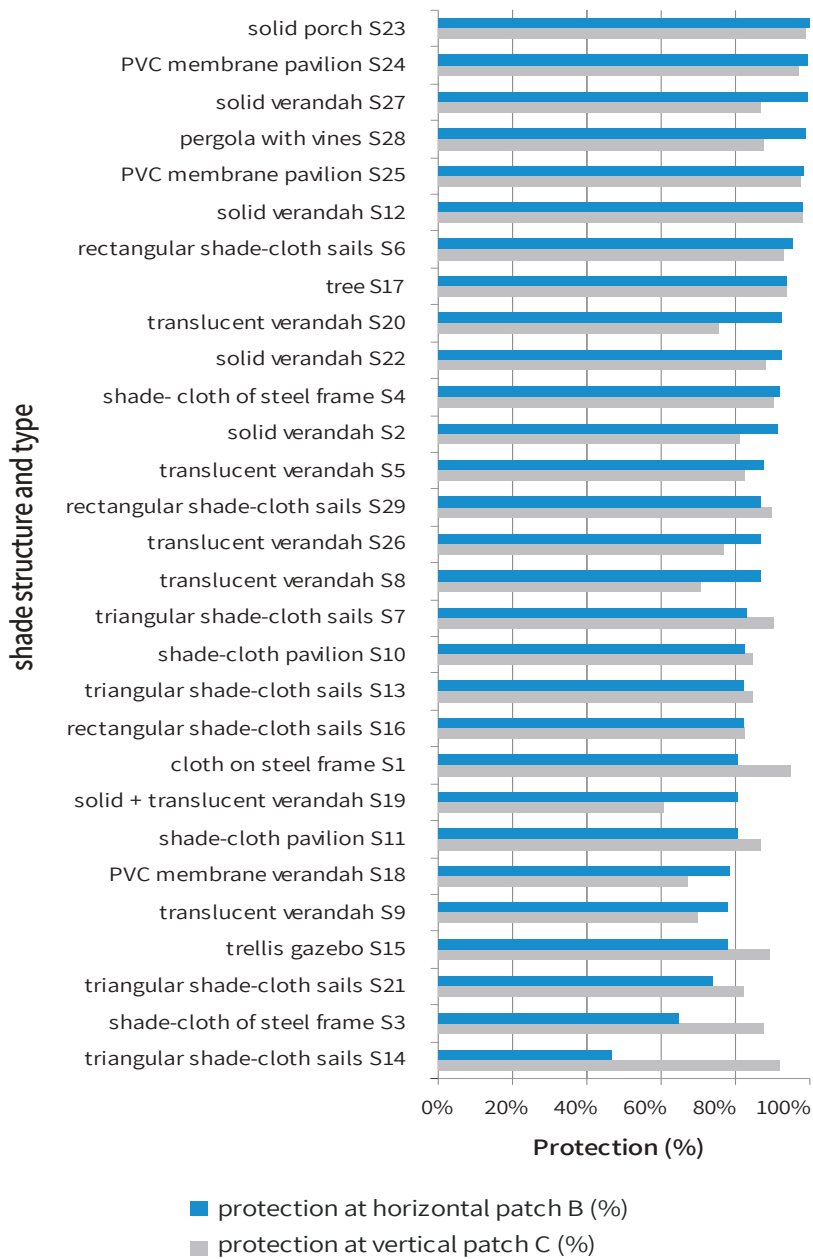
התחשיב מבוסס על מחקרים מאנגליה, ניו זילנד, אוסטרליה ושבדיה. ביצענו התאמה ל: הקצאת התקציב היחסית למערכת הבריאות לתל"ג, שכוחות המחלה במדינה, תל"ג לנפש, שע"ח ואינפלציה.

- תהליך החישוב שנעשה לגבי כל אחת מהמדינות
- איסוף נתונים מארבע מדינות מפותחות שונות
- התאמה לדולר אמריקאי לשנת המחקר הרלוונטי
- חישוב ההוצאה השנתית על מלנומה בדולר אמריקאי
- חישוב ההוצאה השנתית על בריאות כחלק מה-GDP
- חישוב העלות השנתית של מלנומה לנפש
- התאמה לעלות לנפש של מלנומה ביחס להוצאה השנתית על בריאות בישראל
- התאמה לעלות לנפש של מלנומה ביחס לשכוחות המחלה בישראל
- חישוב ממוצע מותאם (שכוחות המחלה וחלקו היחסי של תקציב מערכת הבריאות)

נספח 3 | עלויות חיצוניות מזהמים

תנשייה		תחבורה		חשמל		
1.1.2018	1.1.2017	1.1.2018	1.1.2017	1.1.2018	1.1.2017	
₪ לטון	₪ לטון	₪ לטון	₪ לטון	₪ לטון	₪ לטון	
57,643	55,073	---	---	44,923	42,920	SO ₂
40,971	39,144	97,458	93,113	26,016	24,856	NO _x
154,017	147,149	188,264	179,870	89,946	85,936	PM _{2.5}
99,628	95,186	122,314	116,860	64,120	61,261	PM ₁₀
21,458	20,502	27,708	26,473	---	---	VOC
---	---	1,346	1,286	---	---	CO
121	119	121	119	121	119	CO ₂

UVR protection of 29 shade structures



Sunshade Design, New Zealand, 2003

Guidelines for selecting shade materials

	Glass	Polycarbonate and fibreglass sheeting	Canvas or other tightly-woven cloths	Knitted polyethylene or woven PVC shade cloth	Timber	Steel roof sheeting
Suitability	Good windbreak where visibility and light are required.	Roofing, walling louvre, awnings, skylights, canopies.	Good for small, low-budget jobs.	Canopies and other proprietary products.	Pergolas, trellis screens.	Roofing, walling. Steep or low pitches.
Approximate ultraviolet protection factor – See appendix 1	Depends on thickness. Ordinary window glass is not highly protective. Some radiation (UVA) penetrates glass.	Very high.	Very high when new.	Shade cloth rating of 90% gives only medium UV radiation protection. Double knits or double layers may give higher protection.	Very high. Direct barrier to UV radiation.	Very high. Direct barrier to UV radiation.
Waterproof	Yes.	Yes.	Yes, watertight up to saturation point.	Porous, lacks rain protection.	Depends on detailing and use.	Yes.
Light transmission	High, depending on tint.	High, but varies according to thickness, profile and colour.	Light colours allow more light.	Lighter colours allow more light but reflect and scatter more UV radiation.	Depends on detailing.	No light transmission.
Solar heat gain	Less heat gain if tinted.	High.	Dark colours hotter.	Darker colours are hotter but reflect less UV radiation.	Does conduct heat.	High if not insulated.
Structural implications	Need to select glass appropriate to the site.	Need to incorporate wind uplift considerations into design.	Guy ropes (if present) can cause obstruction.	Wind drags through porous material.	Need to incorporate wind uplift considerations into design.	Need to incorporate wind uplift considerations into design.
Case of replacement of sheeting	Usually readily available.	Readily available.	Readily available.	Readily available. Cost is directly proportional to quality.	Readily available.	Readily available.
Life span	Long, if does not sustain impact.	About 10 years. Discolouration may occur sooner.	Limited. Susceptible to breakdown due to UV radiation exposure.	5–10 years.	Long life if well maintained.	Long life if well maintained.
Particular properties	Safety glass available.	Long lengths and range of colours and profiles available.	Range of colours.	Easier to fabricate than solid fabrics. High-stretch. Curved surfaces easily formed.	Available in wide range of sizes and strengths.	Strongest of roofing and walling available. Economic for small to large structures and range of surfaces.
Maintenance requirements	Needs regular cleaning.	Low maintenance. Impact resistant.	Without specific treatment is not mould resistant.	Susceptible to mould growth and dirt accumulation.	Guard against termites.	Subject to moisture and condensation conditions.

% UV Radiation Transmitted	% UV Radiation Absorbed	Ultraviolet Protection Factor	Protection category
10	90	10	Moderate Protection
5	95	20	High Protection
3.3	96.7	30	Very High Protection
2.5	97.5	40	Excellent Protection
2	98	50+	Excellent Protection

(Source: Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency 1997)

Shade tree chart

Botanical name	Common name	Average height & width	Coastal	Frost resistant	Heavy soils	Quick growing	Wet soils	Canopies	Clean trunks	Invasive roots	Shallow roots	Light limb droppers	Deciduous
Area A – Cool Mountainous													
ACER negundo aurea variegatum	Silver Wattle	7-14m x 5m		X	X		X	X		X			X
ACER truncatum x Acer platanoides	Norwegian Sunset (Norwegian Sunset Shantung Hybrid Maple)	10m x 6m		X	X			X	X				X
ACACIA implexa	Hickory Wattle	5-15m x 5m		X	X			X	X				
ACACIA melanoxylon	Blackwood Wattle	9m x 7m		X	X		X				X		
ACACIA prominens	Golden Rain Wattle	7-9m x 6m		X	X	X					X		
BETULA pendula	Silver Birch	10-15m x 4m		X	X		X	X	X	X			X
EUCALYPTUS linearis	White Peppermint	7-12m x 5-7m		X	X	X		X	X				
EUCALYPTUS nicholi	Willowleaf Peppermint	8-12m x 8m		X	X	X		X	X				
EUCALYPTUS obliqua	Messmate	30-45m x 30m		X	X			X	X				
EUCALYPTUS pauciflora	Snow Gum	4-9m x 6m		X	X		X	X					
EUCALYPTUS scoparia	Wallangara White Gum	9m x 7m		X		X		X	X				
PYRUS calleryana	Callery Pear	8-15m x 4-8m		X	X	X	X	X	X				X
ULMUS parvifolia	Chinese Elm	15m x 12m		X	X	X		X	X				X
ULMUS procera 'Louis Van Houtte'	Golden Elm	10-15m x 8m		X	X		X	X	X	X			X
Area B – Northern Victoria													
ACACIA implexa	Lightwood	5-15m x 5m		X	X			X	X				
ACER argenteum variegata	Silver Variegated Maple	6-8m x 6m		X	X		X	X		X			
ALLOCASUARINA torulosa	Rose Sheoke	4-7m x 3m	X	X	X								
ANGOPHORA floribunda	Rough Barked Apple	12-24m x 12-18m	X				X	X	X				
EUCALYPTUS calophylla rose	Marri	7-10m x 9m			X			X	X				
EUCALYPTUS cornuta	Yate	8m x 8m	X		X			X	X				
EUCALYPTUS leucoxydon rose	Pink Flowering Yellow Gum	5-9m x 5m	X	X	X	X		X	X				X
EUCALYPTUS macrandra	Long Flowered Marlock	4-7m x 6m		X	X	X	X	X	X		X		
EUCALYPTUS sideroxylon	Red Ironbark	9m x 8m		X	X		X	X					X
EUCALYPTUS steedmani	Steedman's Gum	4m x 3m	X		X			X	X				
EUCALYPTUS stricklandi	Strickland's Gum	7-9m x 5m	X	X	X								
EUCALYPTUS torquate	Coral Gum	4-7m x 3m	X			X		X	X				
MELALEUCA linarifolia	Snow in Summer	5-10m x 3-6m		X	X	X		X	X	X	X		
MELALEUCA styphelioides	Prickly Paperbark	7-10m x 5m	X	X	X		X	X	X	X	X		
MELIA azedarach	White Cedar	6-12m x 6-10m		X	X	X		X	X	X	X		
PYRUS calleryana	Callery Pear	8-15m x 4-8m		X	X	X	X	X	X				X
SCHINUS molle	Peppercorn	8-15m x 8-12m			X			X	X	X	X		
ULMUS parvifolia	Chinese Elm	15m x 12m		X	X	X		X	X				X

Area C – Southern Victoria

ACACIA implexa	Lightwood	5-15m x 5m		X	X				X	X								
ACACIA prominens	Golden Rain Wattle	6-9m x 6m		X	X	X			X	X			X					
ACACIA pycnantha	Golden Wattle	9-12m x 6m			X	X									X			
ACER truncatum x ACER platanoides	Norwegian Sunset (Norwegian Sunset Shantung Hybrid Maple)	10m x 6m		X	X				X	X								X
AGONIS flexuosa	Willow Myrtle	4-7m x 5m	X							X	X	X						
ALNUS jorullensis	Evergreen Alder	7-10m x 5m					X	X	X	X	X							
BANKSIA integrifolia	Coastal Banksia	7-15m x 5m	X		X						X							
EUCALYPTUS calophylla	Marri	7-10m x 9m	X		X				X	X								
EUCALYPTUS lehmanni	Bushy Yate	5-8m x 6m	X		X	X			X	X								
EUCALYPTUS leucoxydon	Yellow Gum	5-9m x 5m	X	X	X	X			X	X								X
EUCALYPTUS leucoxydon 'rosea'	Pink Flowering Yellow Gum	5-9m x 5m	X	X	X	X			X	X								X
EUCALYPTUS maculata	Spotted Gum	9-45m x 16m	X		X	X			X	X								
EUCALYPTUS nicholi	Willowleaf Peppermint	8-12m x 8m		X	X	X			X	X								
EUCALYPTUS sideroxydon	Red Ironbark	9m x 8m		X	X				X	X								X
EUCALYPTUS scoparia	Wallangara White Gum	9m x 7m	X	X	X				X	X								
EUCALYPTUS spathulata	Swamp Mallet	4-7m x 7m	X	X	X				X	X	X							
LOPHOSTEMON confertus	Queensland Brush Box	10m x 15m			X	X	X	X	X	X	X	X	X					
MELALEUCA linariifolia	Snow in Summer	4-8m x 5m	X	X	X			X						X				
MELALEUCA stypelioides	Prickly Paperbark	7-10m x 5m	X	X	X			X	X	X	X	X	X					
PLATANUS orientalis	Plane Tree	10-15m x 10m		X	X	X			X	X	X							X
PYRUS calleryana	Callery Pear	8-15m x 4-8m		X	X	X		X	X	X								X
TRISTANIOPSIS laurina	Kankooka	8-12m x 8-10m			X	X	X	X	X	X					X			
ULMUS parvifolia	Chinese Elm	15m x 12m		X	X	X			X	X								X

Thanks to the City of Whitehorse for contributing to the Shade tree chart

Table 1: Reflected UV radiation from different ground surfaces

Material	Level of reflected UV radiation
Lawn grass, summer/winter	2.0% - 5.0%
Grasslands	0.8% - 1.6%
Soil, clay/humus	4.0% - 6.0%
Asphalt roadway, new (black), old (grey)	4.1% - 8.9%
House paint, white	22.0%
Boat deck, wood/fibreglass	6.6% - 9.1%
Open water	3.3%
Open ocean	8.0%
Sea surf, white foam	25.0% - 30.0%
Beach sand, wet	7.1%
Beach sand, dry, light	15.0% - 18.0%
Snow	50.0% - 88.0%
Concrete footpath	8.2% - 12.0%

(Source: Sliney 1986)

(Report, Shade for everyone, Australia, 2004)

