



## כיצד מודדים את כמות הגשם?

**Auguste Gires\***

צרפת, Champs-sur-Marne, UPE, Ecole des Ponts

### סוקרת צעירה

ALINA  
גיל: 15



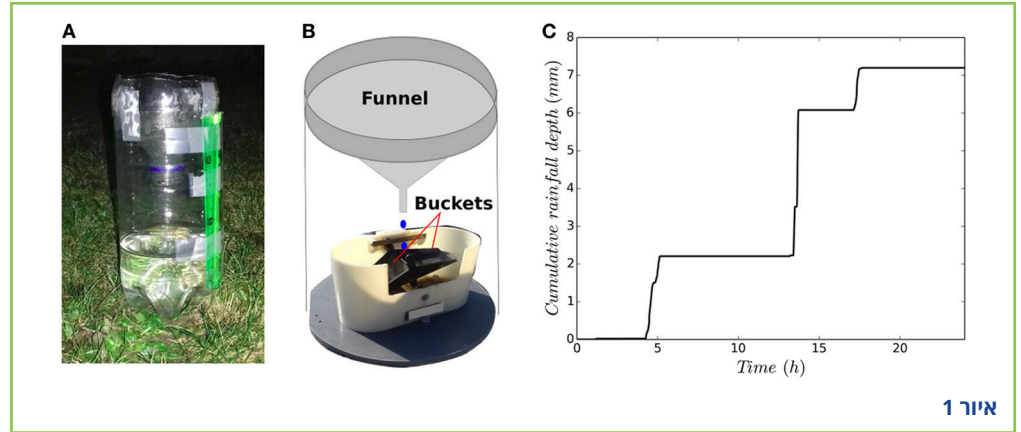
אני די בטוח שאתם חונים גשמים בקביעות, ולפעמים אפילו די מתרטבים מהם, כשאינכם ביגוד מתאים. ירידת גשמים היא גם משאב נחוץ היות שהגשמים ממלאים את הנחלים במים מתוקים, וגם אים פוטנציאלי, שכן גשם כבד עלול לגרום להצפות, לפעמים במהירות רבה. צעד נחוץ מאוד במטרה להבין טוב יותר את תופעת הטבע הזו הוא למדוד אותה נכון. מתברר שהדבר די מתעבב, שכן הגשמים משתנים מאוד בין זמנים שונים ומקומות שונים. במאמר זה תלמדו על התפקוד של שלושה מכשירים למדידת גשמים המספקים מידע על כמות הגשם המצטבר (מד גשם עם ריקון עצמי), על גודל טיפות הגשם ומהירותן (דיסדרומטר) ועל מפות גשם (רדארים של מזג אוויר).

גשם הוא אחת התופעות הנפוצות ביותר על פני כדור הארץ, ואני בטוח שאתם עדים לגשם על בסיס קבוע. לפעמים אתם מוכנים לקראתו בביגוד מתאים, ולפעמים לא! לפעמים זהו גשם קל שנמשך זמן רב, לפעמים גשם כבד אך קצר ולפעמים כבד וממושך. כאשר הגשם כבד ונמשך זמן רב הוא עלול לגרום לשיטפונות מהירים, שמסוכנים לאוכלוסייה הסמוכה. ירידת גשם היא גם הכרח, היות שהגשם מספק מים לצמחים, ולבסוף ממלא נהרות. היות שירידת הגשם היא גם משאב נחוץ וגם אים, חשוב להבין טוב יותר את התופעה הטבעית הזו.

סביר להניח כי כבר שמתם לב לכך שהגשם משתנה במהלך הזמן. כאשר נשארים באותו מקום, לא יורד שם גשם כל הזמן. אפילו בזמן אירוע גשם עוצמת הגשם יכולה להשתנות כל הזמן, מגשם קל מאוד לגשם כבד מאוד. תקופות הגשמים החזקים יותר הן בדרך כלל די קצרות.

**איור 1**

**A.** מד גשם תוצרת בית. **B.** מד גשם מקצועי עם ריקון עצמי. **C.** זוגמה לנתונים המתקבלים ממד הגשם עם ריקון עצמי, המראה כמה גשם (במ"מ, ציר Y) ירדו במשך זמן נתון (ציר X), ב-27 ביוני 2017 בבית הספר הטכנולוגי Ecole des Ponts. הזמן המצוין הוא זמן שעון של יום המדידה. העלייה המהירה ביותר, המתאימה לגשם החזק יותר, התרחשה בין שעה 13:00 לשעה 14:00.



**איור 1**

Funnel = משפך  
 Buckets = כלי קיבול  
 Cumulative rainfall depth (mm) = כמות גשם מצטבר (מ"מ)  
 Time (h) = זמן (שעות)

שונות מסוג זה בירידת הגשם ניכרת גם בקנה מידה גדול, שכן כפי שאתם יודעים יש חודשים (או שנים) רטובים יותר ויש רטובים פחות. יש גם שונות במקום שבו יורד גשם. ייתכן שירד הרבה מאוד גשם במקום אחד, ובמרחק של כמה קילומטרים משם, ואולי אפילו כמה מטרים, לא ירד גשם כלל, או ירד גשם בעוצמה שונה.

המאפיין הבסיסי של ירידת גשמים הוא שונות, הגורמת לכך שמדידת הגשמים מסובכת. מטאורולוגי (אנשים החוקרים את מזג האוויר) וחוקרים פיתחו כמה מכשירי מדידה המאפשרים להם ללמוד על השונות הגדולה בירידת הגשמים. במאמר זה מוסברים התפקודים של שלושה מהמכשירים שהשימוש בהם הוא הנפוץ ביותר. הנתונים המוצגים נאספו בבית הספר הטכנולוגי Ecole des Ponts שבפריז.

**איצי אנו מודדים את כמות הגשם היורד?**

מדידת הגשמים הנפוצה ביותר היא כמות הגשם סך הכול במהלך תקופה נתונה, הנמדדת במילימטרים (מ"מ). למשל, ייתכן שנרצה לדעת כמה מילימטרים של גשם הצטברו במהלך שעה אחת, יום אחד, חודש אחד או שנה אחת.

אתם יכולים לקבל הערכה גסה לכמות הגשם בקלות ובביתכם. עליכם פשוט לפעול לפי השלבים האלה: (1) קחו בקבוק שצדדיו חלקים, חתכו את חלקו העליון והניחו את הבקבוק החתוך הפוך על החלק העליון שלו, ליצירת מעין משפך (ראו איור 1A); (2) הדביקו סרגל על צידו של הבקבוק, ומלאו את הבקבוק במים עד לגובה האפס שבסרגל. אם לא תעשו זאת, הבליטות ישפיעו על המדידה; (3) הוציאו החוצה את מד הגשם שלכם, רחוק ככל האפשר מבניינים ומעצים; (4) בדקו את גובה המים בתדירות קבועה (למשל, בכל בוקר בשעה 8:00, לפני יציאתכם לבית הספר) כדי לאסוף את הנתונים שלכם.

אם אתם מתכננים לבצע את המדידות שלכם בחודשי הקיץ, חלק מהמים שבבקבוק יתאדו (עד כמה מ"מ ליום), דבר שישפיע על המדידות שלכם. כדי למנוע זאת אתם יכולים להוסיף למים שכבה דקה של שמן. היות שהשמן קל מהמים הוא יצוף על המים וימנע את האידוי.

תוצאות המדידות שתקבלו ממד הגשם שלכם יעידו על כמות הגשם שירד במשך תקופת זמן מסוימת.

### מד גשם עם ריקון עצמי (Tipping bucket rain gauges)

מכשיר המודד את כמות הגשם המצטבר (במ"מ) במקום מסוים.

אנשי מקצוע משתמשים במכשירים מורכבים יותר הנקראים **מד גשם עם ריקון עצמי**. אחד מהם מוצג באיור 1B. מד גשם זה נראה כמו המכשיר תוצרת בית שלכם, ההבדל הוא שיש בו שני כלי קיבול מתחת למשפך. המים הנכנסים למד הגשם ינותבו על-ידי המשפך לכלי קיבול אחד. ברגע שכלי הקיבול הזה מתמלא, בדרך כלל כעבור 0.2 מ"מ גשם, המכשיר מתוכנן כך שהוא ייטה באופן אוטומטי, כלומר עכשיו כלי הקיבול השני יימצא מתחת למשפך. התהליך מתחיל שוב מההתחלה בכלי הקיבול השני, עד שהוא מתמלא ונוטה. מד הגשם מתעד את זמני נטיית כלי הקיבול, וכך החוקר מקבל נתונים על מהירות ירידת הגשמים במהלך הזמן. איור 1C מציג דוגמה לנתונים שיכולים להתקבל ממד גשם בריקון עצמי. תצפיות אלה התקבלו ב-27 ביוני 2017. כמות הגשם (במ"מ) עלתה במהירות בין שעה 13:00 לשעה 14:00, כלומר בזמן הזה ירד הרבה גשם. במהלך זמן שבו ירד גשם קל מכשיר זה אינו מדויק במיוחד. למשל, בין שעה 05:15 לשעה 13:00 אפשר רק לומר כי ירדו 0.2 מ"מ גשם (נטייה אחת של כלי הקיבול), אבל אי אפשר לדעת בדיוק מתי ירד הגשם הזה. גם רוח חזקה עלולה להשפיע על דיוק המדידה של המכשיר.

## כיצד אנו מודדים את גודל טיפות הגשם?

ממה עשוי הגשם? טיפות גשם, כמובן! מדי גשם אינם רגישים מספיק כדי לבצע מדידות של טיפות גשם נפרדות. כדי להתחיל לאסוף נתונים על טיפות הגשם ועל גודלן אתם זקוקים למכשיר הנקרא **דיסדרומטר**.

### דיסדרומטר (Disdrometer)

מכשיר המודד את הגודל של כל טיפת גשם העוברת דרכו, ואת מהירותה.

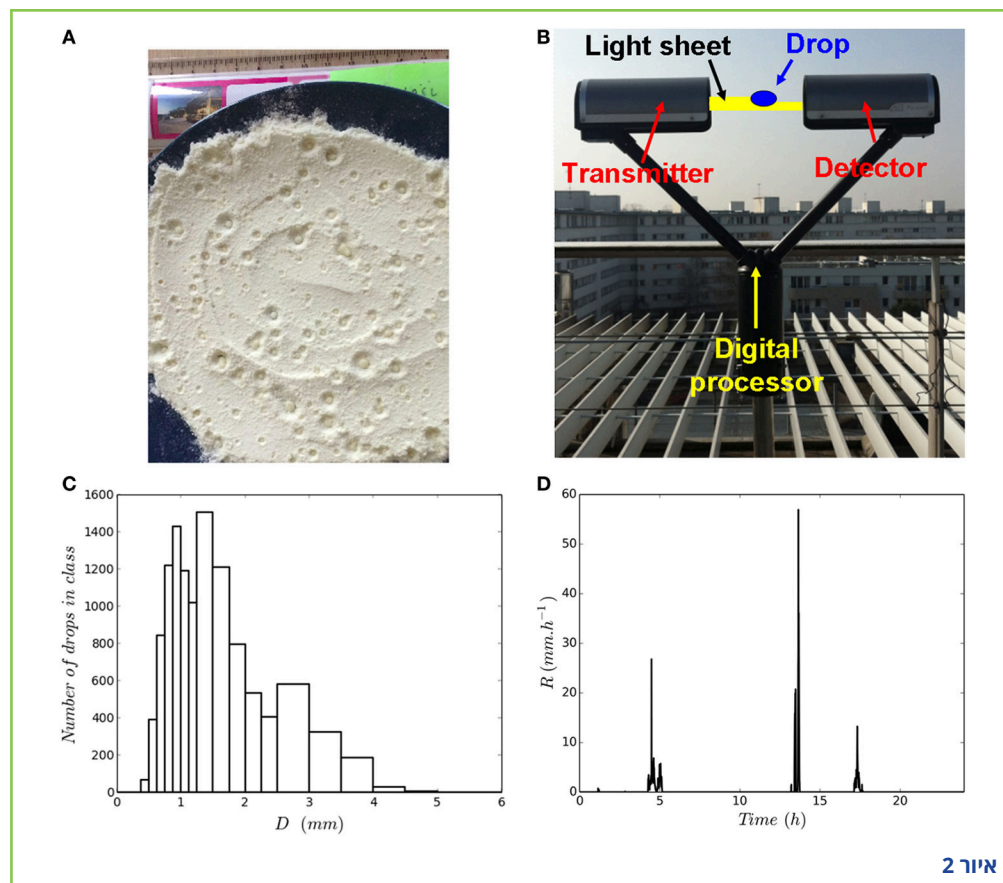
לפני תיאור דיסדרומטר "אמיתי", הנה דרך להכנתו בבית (ראו במקור [1] תיאור מפורט יותר). פעלו לפי השלבים האלה: (1) קחו צלחת ופזרו על כולה שכבת קמח בעובי של כמה מ"מ; (2) כאשר יורד גשם צאו החוצה עם הצלחת מכוסה, הסירו את הכיסוי למשך שניות אחדות כדי שכמה טיפות גשם ייפלו על הצלחת וייצרו מכתשים קטנים, וחזרו פנימה; (3) נתחו את התוצאות.

אתם תראו משהו הדומה למוצג באיור 2A, ותשימו לב שלא לכל הטיפות אותו גודל – חלק מהן קטנות מאוד, וחלק ענקיות! למעשה, המכתשים גדולים מהטיפות כי המים מעט מתפשטים אחרי שהם פוגעים בצלחת, אבל למרות זאת הם מאפשרים לכם לחזות ישירות בשונות הרבה שישנה בגודל הטיפות, גם במשך זמן קצר מאוד.

כפי שאתם יכולים לדמיין לעצמכם, מטאורולוגים וחוקרים רצו מכשיר שיהיה אוטומטי ומדויק יותר מאשר צלחת קמח! כיום משתמשים בעיקר בדיסדרומטרים אופטיים, המתפקדים כפי שמוצג באיור 2B. סוג זה של דיסדרומטר עשוי משני חלקים: משפך ומקלט. המשפך מייצר משטח של אור שגובהו כמה מ"מ. המשפך מסודר באותה שורה עם המקלט, כלומר כאשר לא יורד גשם המשפך מקבל את כל האור. אולם כאשר טיפה עוברת דרך משטח האור, נחשו מה קורה? כמות האור המתקבלת קטנה יותר כי חלק ממנו נחסם על-ידי הטיפה. אם הטיפה נופלת מהר מאוד, משך פחיתת האור יהיה קצר. כך מעריכים את קצב (מהירות) ירידת הטיפה. אם הטיפה גדולה, האות שנמדד על-ידי המשפך יפחת יותר מאשר הפחיתה המתרחשת כאשר

**איור 2**

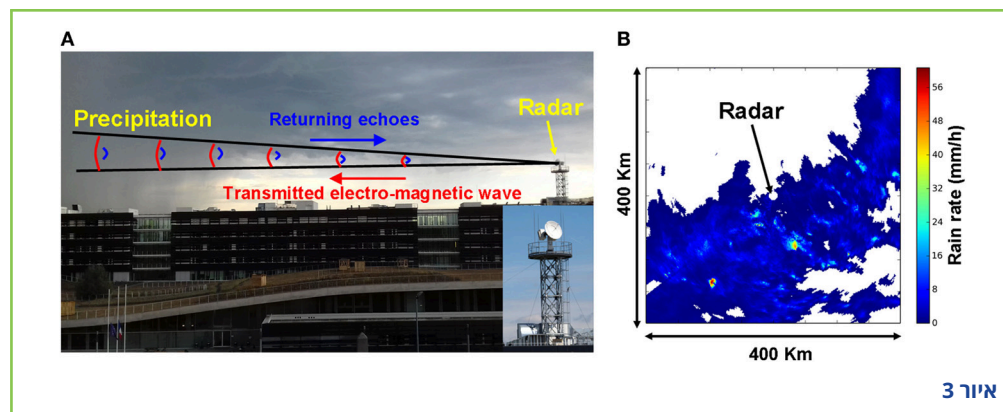
**A.** מדידות המתקבלות מדיסדרומטר תוצרת בית, העשוי מקמח על צלחת. **B.** דיסדרומטר אופטי מורכב ממשדר המייצר מִשְׁטַח של אור לכיוון המקלט. כאשר טיפה נופלת דרך המכשיר מוטל צל על המקלט (ראו במקורות [1, 2] מאמר מדעי המתאר שימוש במכשיר זה). **C.** נתוני דיסדרומטר המראים את מספר הטיפות, בהתבסס על סיווג לפי הגדלים שלהן שנמדדו במהלך אירוע ירידת גשם שהתרחש ביוני 2017 מעל בית הספר הטכני Ecole des Ponts שבפריז. בציר X אפשר לראות את קוטר הטיפות בכל סוג, ובציר Y את מספר הטיפות בסוג זה. כפי שאתם רואים, הרוב של סוגי הטיפות השונים אינו תמיד אחיד. הוא קטן יותר עבור הטיפות הקטנות, שמופיעות בכמות רבה יותר. **D.** קצב ירידת הגשם ביחידות של מ"מ לשעה (ציר Y) כתלות בזמן (ציר X), במהלך אותו אירוע גשם המתואר ב-C. גרף זה מראה שאירעו שלושה שיאי גשם באותו יום.



הטיפות קטנות יותר. כך מעריכים את גודל הטיפות. באופן זה נמדדים הגודל והמהירות של כל טיפה העוברת בין המקלט ובין המשדר.

טיפות גשם יכולות להגיע לגודל של 5-6 מ"מ. טיפות גדולות יותר מתפצלות במהלך נפילתן. בגודל זה, הן בהחלט אינן חזקות מספיק כדי להתנגד לכוחות הרוח הנושבת עליהן, כאשר הן נופלות במהירות. המהירות שבה הטיפות יורדות עולה ככל שהן גדולות יותר: טיפות שגודלן 1 מ"מ יורדות בקצב של 3 מטר לשנייה, בעוד שטיפות שגודלן 5 מ"מ (גדולות מאוד) יורדות בקצב של 8 מטר לשנייה. איור 2C מראה את מספר הטיפות בכל גודל שיורדות במהלך סערה שהתרחשה ב-27 ביוני 2017 באזור פריז. יש הרבה יותר טיפות קטנות מאשר טיפות גדולות. אבל, אל תשכחו שהנפח של טיפה שגודלה 1 מ"מ קטן פי 125 מהנפח של טיפה שגודלה 5 מ"מ! פירושו של דבר, שאף נְשִׁיפּוֹת גדולות אינן רבות, הן אלה שאחראיות לעיקר כמות הגשם. בואו נתייחס למדרגות זמן רצופות של 30 שניות. אחר כך, על-ידי הוספת הנפח של כל הטיפות שעברו בדיסדרומטר במהלך כל מדרגת 30 שניות, אפשר להעריך את כמות הגשם שירדה במהלך כל אחת ממדרגות ה-30 שניות. העֶרְכָה זו תיתן את קצב ירידת הגשם, ובדרך כלל היא מבוססת ביחידות של מ"מ לשעה. קצב ירידת הגשם נותן מושג על חוזקו. קצב ירידת הגשם תואם לכמות הגשם שיצטבר במשך שעה אחת, בהנחה שקצב ירידת הגשם נשמר קבוע במהלך אותה שעה (דבר שלמעשה אף פעם לא קורה). איור 2D מראה את קצב ירידת הגשם (במ"מ לשעה), במדרגות של 30 שניות, במהלך אותו אירוע גשם ב-27 ביוני 2017. בגרף אפשר לראות בקלות את השונות הרבה בקצב ירידת הגשם.

- Light sheet = מִשְׁטַח של אור
- Drop = טיפה
- Transmitter = משדר
- Detector = גלאי
- Number of drops in class = מספר הטיפות בסוג
- D (mm) = קוטר (מ"מ)
- R (mm·h<sup>-1</sup>) = רדיוס (מ"מ לשעה)
- Time (h) = זמן (שעה)



איור 3

### איור 3

### איור 3

### איור 3

### איור 3

כיצד מכינים מפות גשם?

עד כה דנו רק במכשירים שיכולים לספק מדידות של הגשם היורד במיקום מסוים. גם מדי הגשם וגם הדיסדרומטרים רק נותנים לנו מושג על הגשם שירד עליהם, אבל לא על האזורים שבסביבתם או שנמצאים במרחק של 20 ק"מ מהם. כדי ליצור מפות גשם, שהן מפות המראות את כמות הגשם היורד ביחידת זמן מסוימת (למשל 5 דקות או שעה אחת) במקומות רבים, אנו צריכים להסתמך על **רדאר מזג אוויר**.

התפקוד של רדאר מזג אוויר מסוכם באיור 3A. ראשית, ציוד הרדאר משדר גל אלקטרומגנטי לכיוון אחד, המעביר כמות אנרגיה מסוימת דרך האטמוספירה. כאשר אנרגיה זו מגיעה לטיפת מים שבענן, חלק זעום של אותה אנרגיה נשלח בחזרה לציוד הרדאר. אחר כך, הציוד מודד את כמות האנרגיה הזעומה הזו שהגיעה מהטיפות. בעזרת תוכנות מחשב מיוחדות אפשר להמיר את כמות האנרגיה שהתקבלה לכמות של גשם. חשוב לזכור שרדאר אינו מודד ישירות את כמות הגשם, אלא הוא מודד את כמות האנרגיה שמוחזרת מהטיפות. מתברר כי ההמרה הזו של אנרגיה לכמות גשם מתעתעת, ועדיין מתקיים מחקר במטרה לשפר זאת [3]. למשל, כיום מניחים כי התפלגות גודל הטיפות וכן מיקום הטיפות בפיקסל של הרדאר הם **הומוגניים**. זהו פישוט יתר של המציאות, שעלול להשפיע על המדידות [4]. תוכנת המחשב מאפשרת לציוד הרדאר להעריך את כמות הגשם במקומות מרוחקים ממנו. ציוד הרדאר יכול להסתובב, והוא גם יכול לשנות את הזווית שלו, כך שהוא יכול להעריך את קצב הגשם בכל סביבתו.

כתלות בסוג הרדאר אפשר להעריך גשמים היורדים עד 150-200 ק"מ ממיקום ציוד הרדאר. ככמה מדינות מפותחות יש רשת של ציודי רדאר. על-ידי שילוב הנתונים המתקבלים מכל ציודי הרדאר השונים אנו יכולים לקבל מפות גשם מעל המדינה כולה. איור 3B מראה דוגמה של מפת גשם מרדאר שנמדדה על-ידי ציוד הרדאר שנמצא בבית הספר הטכנולוגי Ecole des Ponts שבפריז. אפשר לראות את השונות בגשמים - שימו לב לשני תאי הגשם החזקים מאוד בחלק התחתון של המפה, בצהוב ובאדום.

### מה למדנו?

יש שוני גדול מאוד בגשמים שיורדים, הן במהלך הזמן והן בין מיקומים שונים, דבר המקשה עלינו מאוד את המדידה. מד גשם אוסף את המים היורדים עליו, ומקליט את השינוי בכמות

### איור 3

**A.** רדאר של מזג אוויר פועל על-ידי שליחת גל לאטמוספירה, והטיפות מחזירות חלק ממנו לרדאר. הציוד המוצג ממוקם בבית הספר הטכנולוגי Ecole des Ponts שבפריז. מפת גשם שנוצרה תוך שימוש ברדאר ב-15 בספטמבר 2016 במשך 3 דקות ו-40 שניות. שני תאי גשם חזקים מאוד ניכרים בחלק התחתון של המפה. Precipitation = משקעים Returning echoes = הדים מוחזרים Radar = רדאר Transmitted = electro-magnetic wave גל אלקטרומגנטי שמשודר Rain rate (mm/h) = קצב הגשם (מי"מ לשעה)

### רדאר של מזג אוויר (Weather radar)

מכשיר המאפשר לחשב מפות גשמים באזורים נרחבים, עבור מגוון מדרגות זמן (למשל, 5 דקות, שעה אחת ויום אחד).

### הומוגני (Homogeneous)

אחיד, היות הדבר מאותו סוג בכל מקום.

הגשם, המבוטאת בדרך כלל במ"מ, לאורך הזמן. בעזרת דיסדרומטרים אפשר לקבל מידע מדויק הרבה יותר. דיסדרומטר מייצר משטח של אור, שבחלקו נחסם כאשר טיפת גשם יורדת דרכו. הגודל של כל טיפה וטיפה ומהירות המעבר של הטיפות דרך משטח האור, מוערכים מכמות האור שנחסם. כדי ליצור מפות גשם שמודדות את הגשם באזורים רבים יש להשתמש ברדאר, ששולח לאטמוספירה כמות אנרגיה מסוימת, ומנתח את כמות האנרגיה המוחזרת אליו לאחר שהיא מנתקת חזרה מטיפות גשם שנמצאות באטמוספירה. עדיין יש מדענים רבים שמחפשים דרכים למדידה מדויקת של הגשמים במהלך הזמן ובמקומות שונים בזמן.

## תודות

המחברים מודים על תמיכה כלכלית חלקית מטעם יושב ראש "הידרולוגיה עבור ערים בעלות חֶסֶן" (נתרם על-ידי Veolia) של בית הספר הטכנולוגי Ecole des Ponts שבפריז.

## מקורות

1. Gires, A., Muller, C. L., le Gueut, M.-A., and Schertzer, D. 2016. Making rainfall features fun: scientific activities for teaching children aged 5–12 years. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 20:1751–63. doi: 10.5194/hess-20-1751-2016
2. Gires, A., Tchiguirinskaia, I., and Schertzer, D. 2016. Multifractal comparison of the outputs of two optical disdrometers. *Hydrol. Sci. J.* doi: 10.1080/02626667.2015.1055270
3. Berne, A., and Krajewski, W. F. 2013. Radar for hydrology: unfulfilled promise or unrecognized potential? *Adv. Water Resour.* 51:357–66. doi: 10.1016/j.advwatres.2012.05.005
4. Schertzer, D., Tchiguirinskaia, I., and Lovejoy S. 2012. "Getting higher resolution rainfall estimates: X-band radar technology and multifractal drop distribution," in *Proceedings of the Weather Radar and Hydrology Symposium Held in Exeter, UK, April 2011.* (Vol. 351), IAHS Publ. p. 672.

פורסם אונליין: 31 בינואר 2019

נערך על ידי: Jeffrey Reimer, University of California, Berkeley, United States

ציטוט: Gires A (2019) כיצד מודדים את כמות הגשם? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2018.00038-he

### תורגם והותאם:

Gires A (2018) How Do We Measure Rainfall? *Front. Young Minds* 6:38. doi: 10.3389/frym.2018.00038

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

Gires 2018 © **COPYRIGHT**. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחבר(ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

## סוקרת צעירה

**ALINA, גיל: 15**

אני תלמידת בית ספר תיכון שאוהבת לקרוא, לכתוב ולהשתתף במעבדות מהנות. אני תמיד סקרנית ללמוד בכיתה עוד על מדע, במיוחד על פסיכולוגיה ועל ביולוגיה. אני שמחה שהזדמן לי להכין סקירה עבור "פרונטייה" - מדע לצעירים", כי זו הייתה דרך נהדרת עבורי ללמוד יותר על דברים שלא לומדים בכיתה.

## הכותב

**AUGUSTE GIRES**

אני עובד בחקר ירידת גשמים, בניסיון להבין טוב יותר את ההטרונגניות ואת המרכבות של הנושא. אני עובד הן במדידות הן ביצירת מודלים של גשמים, שני תחומים שיש לשפר כדי שחוקרים יוכלו להבין לחלוטין את ירידת הגשמים. אני גם עובד בחקר הידרולוגיה עירונית, בניסיון לשפר את הטיפול בגשמים לאחר ירידתם על הערים. אני עובד במעבדת הידרולוגיה, מטאורולוגיה ומרכבות בבית הספר הטכנולוגי Ecole des Ponts שבפרי. \*auguste.gires@enpc.fr



Hebrew version  
provided by

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ער.)  
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس  
Bloomfield Science Museum Jerusalem

