

בצורות, הצפות, שינויי אקלים ואובדן יערות באזור האמזונס: סכנה עכשיו וסכנה בעתיד

Jose A. Marengo*

המרכז הלאומי לניטור והתרעות על אסונות טבע, סאו חוזה דוס קמפוס, ברזיל

סוקרים צעירים

ARYAN

גיל: 15



GWEN

גיל: 12



האמזונס הוא יער הגשם הגדול ביותר בעולם. הוא ממלא תפקיד חשוב באקלים העולם בכלל ובאקלים המקומי בפרט, ובמיוחד במחזור המים באגן האמזונס ובתחלופת הלחות בינו לאטמוספירה. אירועי מזג אוויר קיצוניים, למשל בצורות או הצפות, יכולים להיות מסוכנים גם לבני האדם וגם לטבע. באזור האמזונס הבצורות וההצפות משנות את כמות אדי המים שבאטמוספירה, ולכן בסופו של דבר הן מסכנות את עצם קיומו של יער האמזונס כולו. במאמר הזה נדון כיצד אפשר לצמצם את ההתחממות הגלובלית ואת אובדן היערות.

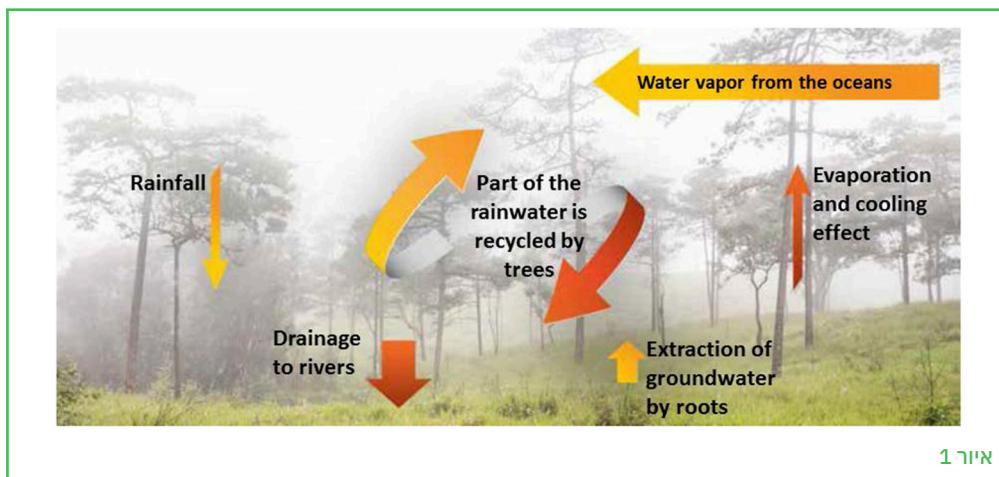
מדוע עלינו לדאוג ליער הגשם שבאמזונס?

בעיני רבים, יער הגשם שבאמזונס הוא ה"ריאות" של כדור הארץ; העצים שבו קולטים פחמן דו-חמצני (CO₂) מהאוויר ופולטים את החמצן שבעלי החיים וגם בני האדם נושמים. חיים בו נחשים, קופים, עכבישים, סחלבים ומגוון עצום של בעלי חיים וצמחים הייחודיים רק לו. אומנם כל אלה חשובים כדי שנדאג להמשך קיומו של היער, אולם יש סיבות החשובות לא פחות.

יער הגשם משפיע על האקלים המקומי ועל האקלים בעולם כולו באמצעות יחסי גומלין עם האטמוספירה. **איור 1** מראה כיצד יחסי הגומלין יוצרים את האקלים הלח המאפיין את אגן האמזונס. רוחות נושאות עימן לחות מהאוקיינוס האטלנטי הטרופי אל האמזונס. אדי המים שבאוויר מתעבים לעננים, וגשם יורד באזור. מי הגשם מחלחלים באדמה ומזינים את העצים ביער הטרופי. המים מתאדים מן העלים ומן האדמה לאטמוספירה, והלחות מתחדשת במהירות. חלק מאדי המים האלה מתעבים מעל היער ושוב יורד גשם באזור. חלק מהם נישאים ברוח לאזורים שכנים ומתעבים שם לענני גשם.

איור 1

מחזור מים באזור האמזונס [1]. לחות מגיעה מהאוקיינוס האטלנטי הטרופי לאזור האמזונס עם רוחות הסחר. אחרי שיוורד גשם, העצים ביער הגשם מאבדים מים באידוי ובדיות (אידוי מהעלים) וממחזרים לחות. מרבית המים שהתאדו חוזרים לאזור האמזונס כגשם.



איור 1

בין 30 ל-70 אחוזים מהמשקעים באגן האמזונס מקורם במים שהתאדו מיער הגשם [1, 2]. כלומר יער הגשם יכול להשפיע על הטמפרטורות ועל המשקעים, וכך הוא תורם לשינוי האקלים באזור, ואף ביבשת כולה. אם ייעלמו יערות הגשם, משבר האקלים בכדור הארץ עלול להחריף. מאחר שעצים מפחיתים את כמות ה- CO_2 באטמוספירה, המדענים חוששים שהמשך הצטמצמות יער הגשם שבאמזונס יוביל לעלייה בכמות ה- CO_2 הכוללת בעולם. נוסף על כך, אובדן יער הגשם יכול להשפיע על מחזורי הגשם באזור האמזונס ולסכן את תפקוד היער. שינויים כאלה יהפכו את האקלים באזור ליבש וחם יותר משהוא כיום ויגבירו את הסיכון לשַרפות ולסחיפה.

כיצד שינויי האקלים ואירועי אקלים קיצוניים משפיעים על אזור האמזונס?

בשנים האחרונות התרחשו אירועי אקלים קיצוניים (גשם רב או יובש ממושך) באזור האמזונס. ב-2005, ב-2010 וב-2016 פקדו את האזור **בצורות**, וב-2009, ב-2012 וב-2014 היו **הצפות** חריגות בהיקפן. אירועים אלה השפיעו על האזור, ומהם אפשר ללמוד כיצד שינויי אקלים משפיעים על המערכת האקולוגית ועל האנשים החיים באגן האמזונס. החוקר לואיז אַרְגָּאו [3] מצא שבזמן הבצורת שהתרחשה ב-2016 עלה מספר השרפות באזור ב-36 אחוזים בהשוואה ל-12 השנים שקדמו לה. נמצא גם שהעונה היבשה בדרום האמזונס, האזור שבו אחוזי ה**בירוא** הם הגבוהים ביותר, התארכה ב-3-4 שבועות, וכעת הגשמים באזור זה מתחילים לרדת מאוחר מהרגיל [4]. עונת היובש הארוכה הזו מגדילה את הסיכון לשרפות. בעתיד האקלים צפוי להיות חם עוד יותר מזה; הבצורות עשויות להיות תכופות וקשות משהן היום, ועונות היובש הממושכות יובילו לקרוב לוודאי לשרפות רבות. כל אלה ישפיעו, ללא ספק, על האנשים החיים שם ועל המגוון הביולוגי בכל אזור האמזונס.

בצורת (Drought)

היעדר גשם לזמן ממושך.

הצפה (Flood)

עליית פני הנהר או כל מקווה מים אחר מעבר לגבולותיו.

בירוא (Deforestation)

אובדן יערות עקב כריתת עצים או שרפות כדי לפנות שטחי קרקע לחקלאות או למטרות אחרות.

**התחממות גלובלית
(Global warming)**

עלייה הדרגתית בטמפרטורה הכוללת של אטמוספירת כדור הארץ. ההתחממות היום נובעת מאפקט החממה, כליאה של חום באטמוספירה בגלל הצטברות של גזי החממה, ובמיוחד פחמן דו-חמצני.

**שינויי אקלים
(Climate change)**

שינויים ארוכי טווח באקלים של אזור מסוים.

**מחזור לחות
(Moisture recycling)**

תהליך שבו מים מתאדים מהיער וחוזרים אליו כגשם.

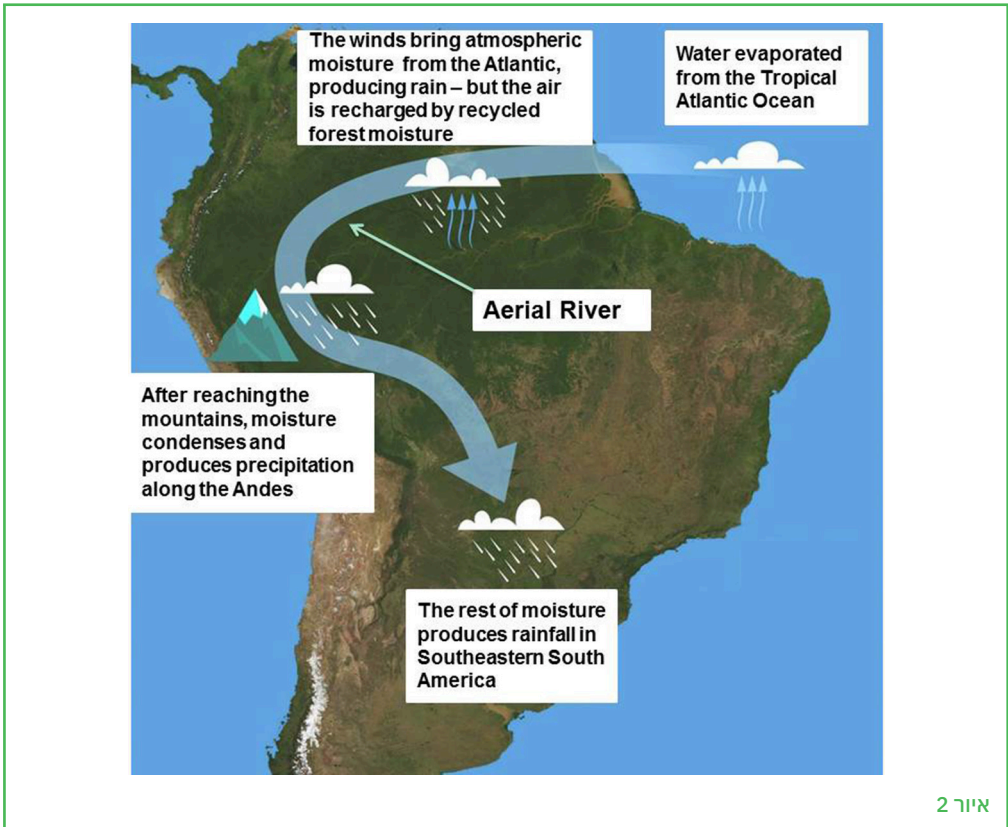
איור 2

כיצד לחות נישאת אל אגן האמזונס ומחוצה לו? מים מתאדים מהאוקיינוס האטלנטי הטרופי, והאדים מגיעים לאזור האמזונס עם רוחות הסחר. אדי המים יוצרים עננים, וגשמים יורדים בכל רחבי האזור. בד בבד הלחות באוויר מתחדשת מתהליך האיידוי. זרם האוויר הלח הזה נע לכיוון מזרח הרי האנדים, סוטה ממסלולו בגלל ההרים ומביא את הלחות לדרום ברזיל ולצפון ארגנטינה. תנועת האוויר היא מעין "נהר לחות" או "נהר אוויר".

כדי לחזות את האקלים בעתיד חוקרים ברחבי העולם נעזרים במתמטיקה. כיצד? את כל התהליכים הטבעיים-מאזן החום והלחות באזור וחילופי חום ולחות בין האדמה, לצמחים ולאוויר, וכן מעבר לחות מהאמזונס לאזורים שכנים-את כל אלה הם מייצגים באמצעות משוואות. את המשוואות הללו אפשר לפתור רק באמצעות מחשבי-על. ייצוג מתמטי של הטבע נקרא "מודל אקלים". מודלים של אקלים מראים שהתחממות גלובלית או בירוא יכולים להוביל למזג אוויר חם ויבש יותר במרכז האמזונס ובמזרחו. במאמר שפרסמתי בשנת 2018 [4] הראיתי שהמשך התנודות בין בצורות להצפות עלול להוביל את יער האמזונס לנקודת אל-חזור, כלומר לנקודה שלאחריה יהיו שינויי האקלים בלתי הפיכים. שינוי כזה מאיים על עצם קיום יער הגשם הטרופי באמזונס.

מהם נהרות אוויר וכיצד הם משפיעים על משקעי גשם?

בעבודתו החלוצית משנת 1979 [2] הסביר המדען הברזילאי, פרופסור אנייס סלאטי, את מאזן המים באזור האמזונס: כמות רבה מאוד של מים מתאדה מהיער וחוזרת אליו בגשמים. תהליך זה מכונה **מחזור לחות**. מדען אחר [5] תיאר כיצד מחזור הלחות אפשר ליער לשרוד עד היום (איור 2). מים מתאדים מהאוקיינוס האטלנטי, והרוחות הנושבות מעל פני האוקיינוס נושאות עימן את אדי המים אל אזור האמזונס. הלחות שבאוויר עולה עקב מחזור הלחות בין היער לאטמוספירה. תחילה האוויר הלח נע מערבה, אולם במזרח הרי האנדים הוא מוסט לכיוון דרום-מזרח היבשת. תנועה זו של האוויר דומה לזרימה של נהר שמביא לחות וגשם לאזורי הדרום והמרכז של ברזיל וכן לחלק מארגנטינה.



איור 2

נהרות אוויר (Aerial rivers)

במאמר זה נהרות אוויר הם זרמי אוויר לח הנעים מהאוקיינוס האטלנטי הטרופי, דרך אגן האמזונס ועד לדרום ברזיל וצפון ארגנטינה.

נקודת מפנה (Tipping point)

כמות השינוי הדרושה כדי למנוע מערכת מלחזור למצב ההתחלתי שלה.

ג'וספינה אראוט דייקה את הרעיון בשנת 2012 וטבעה את המונח "נהרות אוויר" [6]. נהרות אוויר דומים לנהרות שעל פני היבשה, אך "זורמים" באטמוספירה ובהם אדי מים ועננים. נהר האוויר שממזרח להרי האנדים מעביר לחות בנפח של כ-230,000 מטרים מעוקבים בכל שנייה, נפח הדומה בקירוב לנפח המים הזורמים מנהר האמזונס לאוקיינוס האטלנטי!

כיצד ישתנה האקלים אם ייעלמו יערות הגשם?

בירוא יערות נתפס כסכנה לסביבה. הוא מפחית את מחזור הלחות בין הצמחייה לאטמוספירה, ואף מפחית את נפח אדי המים הנעים בנהר האוויר. אילו היו מבוראים כל יערות האמזונס או אפילו רק חלק מהם, היו מתרחשים אירועי אקלים קיצוניים באזורים נרחבים, ואף בארצות הברית ובסין [7]. גם כריתה של שיעור קטן מיער האמזונס בדרום אמריקה יכולה להשפיע על כמות הגשמים בדרום ברזיל ובצפון ארגנטינה. ככל שילכו ויעלמו היערות, יפחתו המים באטמוספירה ויתמעטו הגשמים. החקלאים יתקשו לגדל יבולים, תקטן כמות המזון הזמין לבני האדם ולבעלי החיים ועסקים חקלאיים רבים עלולים להיקלע לקשיים כלכליים. נוסף על אירועי אקלים קיצוניים, כגון בצורות או סופות ממושכות, המשך כריתת היערות בכדור הארץ יחריף את ההתחממות הגלובלית. כבר בתחילת המאה הזו חזו כמה מדענים [8, 9] ששינוי האקלים עלול להיות קיצוני אם יעלו הטמפרטורות בעולם ב-4 מעלות צלזיוס במוצא. אז יגיעו אקלים העולם לנקודת מפנה; המערכת האקולוגית שבאמזונס תשתנה כליל, וייתכן שאזורים רבים בדרום האמזונס ובמזרחו יהפכו לסוואנה [10].

מה אנו יכולים לעשות כדי למנוע שינויי אקלים מסוכנים?

כפי שהסברתי במאמר הזה, שינויי האקלים מסכנים את הסביבה שלנו. לכן בכל מדינה יש לתקן תקנות כדי להפחית את פליטות גזי החממה וכדי למנוע כריתת יערות. רק כך נוכל לשמור על כדור הארץ למען הדורות הבאים.

אחת לשנה מתכנסת ועידה בין-לאומית שמטרתה לדון בשינויי אקלים ובהשפעותיהם על העולם. בדצמבר 2015 נערכה ועידת האקלים בפריז. בסיום הוועידה נחתם הסכם פריז, ובו התחייבו המדינות לנקוט צעדים למיתון ההתחממות הגלובלית. עוד התחייבו המדינות לפעול לצמצום פליטות ה- CO_2 ולעצור את בירוא היערות או לפחות להפחיתו. אם אכן יפעלו המדינות על פי הסכם פריז, יעלו הטמפרטורות בעולם בפחות מ-2 מעלות צלזיוס בעשורים הבאים, ויפחת הסיכון לתוצאות הרוות אסון.

מסקנות

שינויי אקלים באזור האמזונס ישפיעו על יער הגשם, וכן על בני האדם ועל מגוון האורגניזמים החיים בו. מומלץ כי בעתיד יתמקדו המחקרים בהשפעות שינויי האקלים על החיים באזור האמזונס, ובפרט בהשפעות של בצורות ושל שרפות על בני אדם ועל בעלי חיים. יתרה מזו, יש לחקור לעומק מהן ההשלכות של בצורות והצפות על בני אדם ועל מערכות אקולוגיות. אם תימשך ההתחממות, תתרחשנה הצפות, שריפות ובצורות בתכיפות רבה מהיום. לכן

נדרש לנקוט פעולות כדי למזער את השלכות האירועים הללו. שרפות ממושכות וכריתת יערות באמזונס יכולים לפגוע במאבק כנגד שינויי האקלים. עלינו להגן על יער הגשם הנפלא שבאמזונס ולשקם אותו. כך יגדלו הסיכויים ששינויי האקלים לא ישפיעו על קיומנו.

תרומת המחברים

המחבר היחיד תרם את כל ההיבטים בהכנת המאמר ובכתיבתו.

מאמר המקור

Marengo, J. A., Souza, C. Jr., Thonicke, K., Burton, C., Halladay, K., Betts, R., et al. 2018. Changes in climate and land use over the Amazon region: current and future variability and trends. *Front. Earth Sci.* 6:228.

doi: 10.3389/feart.2018.00228

מקורות

1. Marengo, J. A., Nobre, C. A., Chou, S. C., Tomasella, J., Sampaio, G., Alves, L., et al. 2011. *Dangerous Climate Change in Brazil, A Brazil-UK Analysis of Climate Change and Deforestation Impacts in the Amazon*. Sao Jose dos Campos: INPE, 54.
2. Salati, E., Dall'Olio, A., Matsui, E., and Gat, J. R. 1979. Recycling of water in the Amazon basin: an isotopic study. *Water Resour Res.* 15:1250–8. doi: 10.1029/WR015i005p01250
3. Aragão, L. E. O. C., Anderson, L. O., Fonseca, M. G., Rosan, T. M., Vedovato, L. B., Wagner, F. H., et al. 2018. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nat. Commun.* 9:536. doi: 10.1038/s41467-017-02771-y
4. Marengo, J. A., Souza, C. Jr., Thonicke, K., Burton, C., Halladay, K., Betts, R., et al. 2018. Changes in climate and land use over the Amazon region: current and future variability and trends. *Front. Earth Sci.* 6:228. doi: 10.3389/feart.2018.00228
5. Nobre, A. D. 2014. *The Future Climate of Amazonia: Scientific Assessment Report*. São José dos Campos: CCST-INPE.
6. Arraut, J. M., Nobre, C., Henrique de Melo Jorge, B., Obregon, G., and Marengo, J. A. 2012. Aerial rivers and lakes: looking at large-scale moisture transport and its relation to Amazonia and to subtropical rainfall in South America. *J. Clim.* 25:543–56. doi: 10.1175/2011JCLI4189.1
7. Lawrence, D., and Vandecar, K. 2015. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. *Nat. Clim. Change* 5:27–36. doi: 10.1038/nclimate2430
8. Cox, P. M., Betts, R. A., Jones, C. D., Spall, S. A., and Totterdell, I. J. 2000. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature.* 408:184–7. doi: 10.1038/35041539

9. Oyama, M. D., and Nobre, C. A. 2003. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. *Geophys. Res. Lett.* 30:2199. doi: 10.1029/2003GL018600
10. Lovejoy, T. E., and Nobre, C. A. 2018. Amazon tipping point. *Sci. Adv.* 4:2340. doi: 10.1126/sciadv.aat2340

פורסם אונליין: 28 בינואר 2022

נערך על ידי: Noemie Ott

מנחים מדעיים: M. Nils Peterson | Dhruv Suri

ציטוט: Marengo JA (2022) בצורות, הצפות, שינויי אקלים ואובדן יערות באזור האמזונס: סכנה עכשיו וסכנה בעתיד. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00147-he

תורגם והתאם מ: Marengo JA (2020) Drought, Floods, Climate Change, and Forest Loss in the Amazon Region: A Present and Future Danger? *Front. Young Minds* 7:147. doi: 10.3389/frym.2019.00147

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

זכויות יוצרים © 2020 © Marengo 2023. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרים צעירים

ARYAN, גיל: 15

Aryan הוא תלמיד נלהב שנהנה לקרוא על התקדמות מדעית, במיוחד בתחומים של שינויי אקלים ואנרגיה. מחוץ לכיתה, Aryan הוא שחקן כדורגל מצוין ומלא אנרגיה ומרץ. יום אחד הוא מקווה שמנצי'סטר סיטי תצליח לזכות בגביע הליגה האנגלית, אף על פי שהם עדיין ממשיכים להפסיד לניוקאסל. היום הזה רחוק!

GWEN, גיל: 12

Gwen, קוראים לי Gwen, אני גרה בארצות הברית, מנגנת על פסנתר ומשחקת כדורעף. אני בכיתה ז', והמקצועות האהובים עליי הם מדע, מתמטיקה, אומנות וספרדית. אני אוהבת לקרוא, במיוחד נובלות של מדע בדיוני וסדרות (אני גם אוהדת מושבעת של הארי פוטר). רק התחלתי לעבוד עם פרונטירז-מדע לצעירים, ואני מתרגשת מאוד מהמשך העבודה!



הכותבים

JOSE A. MARENGO

Jose A. Marengo הוא מדען בכיר ומנהל ראשי למחקר ופיתוח במרכז הלאומי לניטור ולהתראה מוקדמת של אסונות טבע (CEMADEN) בסאו פאולו, ברזיל. יש לו פרופסורה בתוכנית לפוסט-דוקטורט במערכות מטאורולוגיה ומדעי כדור הארץ במכון הלאומי לחקר החלל (INPE), כמו גם בתוכנית לפוסט-דוקטורט באסונות טבעיים באוניברסיטה המדינית של סאו פאולו (UNESP). תחומי המחקר שלו הם מידול אקלים; שונות של אקלים ושינוי באזורים טרופיים; אירועי אקלים קיצוניים (במיוחד בצורת); השפעות של שינויי אקלים; פגיעות והסתגלות של שינויי אקלים, והפחתת הסיכון לאסונות.

*jose.marengo@cemaden.gov.br



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



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK