



הקשר בין ערכי אל-ניניו למשקעים בישראל

נועם חלפון, איל אילוטוביץ, יצחק כרמונה, יצחק יוסף, עמיר גבעתי

השירות המטאורולוגי הישראלי

תקציר

עבודה זו מציגה בחינה כמותית, מעודכנת ומקיפה של הקשר בין אירועי אל-ניניו חזקים לבין עונות הגשם בישראל, על בסיס סדרות נתונים ארוכות טווח ב-155 השנים האחרונות, החל מעונת 1870/71. הבחינה נערכה על רקע הצפי לעונת גשם חריגה בחורף 2026/27, שבמהלכה ערכי מדד אל-ניניו 3.4 צפויים להגיע לרמות גבוהות במיוחד ביחס לרשומות ההיסטוריות.

העבודה בחנה את הקשר בין עוצמת האל-ניניו לבין מגוון מדדים מטאורולוגיים בישראל ובהם כמויות המשקעים העונתיות, כמויות גשם יומיות, סופות גשם משמעותיות, עוצמות גשם שעתיות ואירועי שלג בהרי הצפון והמרכז. לצורך כך נעשה שימוש בסדרות משקעים סריגיות, בנתוני תחנות היסטוריות, בנתוני עוצמות גשם ובנתוני שלג ששוחזרו בין היתר מדו"חות תצפית היסטוריים.

הממצאים מצביעים על מתאם חיובי ומובהק בעשורים האחרונים בין עוצמת האל-ניניו לבין כמות המשקעים העונתית בישראל, תוך שונות מרחבית מסוימת בין אזורי הארץ. הקשר נמצא חזק יותר בעיקר באזורי מרכז הארץ ודרומה ובהם הרי יהודה, השפלה וצפון הנגב ומתון יותר בצפון הארץ. לצד זאת, נמצא כי הקשר בין אל-ניניו למשקעים בישראל אינו קבוע בזמן וכי בעבר הרחוק הוא היה חלש יותר, לא מובהק ולעיתים אף שלילי.

בנוסף למשקעים העונתיים, נמצאה נטייה חיובית, גם אם לא תמיד מובהקת סטטיסטית, לאירועי קיצון בשנות אל-ניניו חזקות. נטייה זו באה לידי ביטוי בכמויות גשם יממתיות וסופתיות גבוהות יותר, בעוצמות גשם משמעותיות וכן בשכיחות גבוהה יותר של אירועי שלג משמעותיים בהרים, הן מבחינת מספר ימי השלג והן מבחינת עובי ההיערמות. מבחינה סינופטית, ממצאים אלה עשויים להיות קשורים לזמינות מוגברת של לחות ואנרגיה באטמוספירה, להדרמה אפשרית של זרם הסילון הסובטרופי ולחדירת אפיקי רום ושקעים עמוקים לאזורנו.

עם זאת, שנות אל-ניניו חזקות אינן מבטיחות בהכרח חורף גשום או עתיר אירועי קיצון בישראל. מימוש הפוטנציאל תלוי בתנאים הסינופטיים האזוריים ובמערכות האטמוספירות



שיתפתחו בפועל. לכן יש להתייחס לממצאים כהגדלת הסתברות וכהרחבת פוטנציאל האירועים.

עבודה זו תאפשר לגופים השונים במדינה להיערך בצורה טובה יותר, לזהות נקודות כשל אפשריות ולצמצם את הסיכונים הנובעים מאירועי מזג אוויר חריגים במיוחד.

תוכן עניינים

1.	מבוא.....	3
2.	מתודולוגיה.....	5
3.	תוצאות.....	7
4.	דיון.....	20
5.	סיכום ומסקנות.....	23
	מקורות.....	25



1. מבוא

תופעת האל-ניניו היא אחת התנודות האקלימיות המשמעותיות ביותר אשר משפיעות על האקלים העולמי. התנודה המקורית היא תנודת טמפרטורות פני האוקיינוס השקט בחלקו המשווני המזרחי והיא קשורה בעוצמת ניבוע מים קרים מהמעמקים (Upwelling) בסמוך לחופי אקוודור וצפון פרו. המחזור הרב שנתי של ניבוע מים קשור ישירות ללחצי האוויר במרכז ודרום האוקיינוס השקט ונובע מהחלשות "רוחות הסחר", הרוחות המזרחיות הנושבות באזור המשווני של האוקיינוס השקט (Wyrtki, 1975). טמפרטורות גבוהות של האוקיינוס באזור אקוודור-פרו מביאות למוקד לחץ נמוך שם, עלית אוויר לח וגשמים מרובים ומנגד למוקד לחץ גבוה וצניחת אוויר בצידו המערבי של האוקיינוס באזור פפואה-ניו גיני, מזרח אינדונזיה וצפון מזרח אוסטרליה וכתוצאה מכך לבצורות באזור זה. על הקשר ההדדי בין טמפרטורת האוקיינוס השקט המשווני והלחצים מעליו עמד כבר לפני יותר מ-100 שנים Walker (1924), שהגדיר את התנודה הדרומית (Southern Oscillation). עם התרבות התצפיות מהאוקיינוס השקט, תנודה זו הוכחה פיזיקלית על-ידי Bjerknes (1969). אלא שמלבד ההשפעה הישירה באזור האוקיינוס השקט, לתנודה זו השלכות גם על מזג האוויר באזורים מרוחקים יותר בשל קשרים מרחוק (Teleconnections), בין אם בשל השלכות על מיקום אפיקי רום מרוחקים כחלק מתצורת "גלי רוסבי" וכן בשל התעצמות זרם הסילון והסטתו דרומה ועימו אזורי ההיווצרות של השקעים הברומטריים. זאת, בשל התחזקות גרדיינט הטמפרטורות בין הקוטב לקו המשווה בשנות אל-ניניו (An & Zhang, 2021).

כמו כן, בעת אירועי אל-ניניו ככלל ואירועי אל-ניניו חזקים בפרט, אנומליית הטמפרטורות החיובית של פני מזרח האוקיינוס השקט מגבירות משמעותית את אידוי המים ומביאות לשחרור כמויות גדולות של חום כמוס באטמוספירה ובשל מחזור המים בטבע, אנרגיה זו ממשיכה להשפיע גם על לחות והתעבות באזורים הטרופיים המרוחקים ממוקדי התנודה כגון, אפריקה המשוונית Cai et al. (2021) ואף בקווי רוחב צפוניים בשל הפרעות שנוצרות בחלקה העליון של הטרופוספירה ואף בסטרטוספירה כתוצאה משחרור כמויות גדולות של חום כמוס באזורי ההתעבות העיקריים בשנות אל-ניניו המייצרות הפרעות ושינויים בגלי רוסבי ואפיקי הרום (Alexander et al., 2002). במחקר אחר, בחנו החוקרים (Adler et al., 2018) באמצעות כלי חישה מרחוק, את ממוצעי הגשם הגלובליים השנתיים ומצאו סטייה חיובית משמעותית בכמות הגשם הגלובלית בשנות אל-ניניו קיצוניות כמו 2016, 2010 ו-1998.

מאחר שמדובר בתנודה אטמוספרית בה לטמפרטורת מי האוקיינוס יש משוב חיובי עליה ובפרט בחודשי הסתיו והחורף (הצפוני), היא למעשה מתקבעת בין הסתיו לחורף ללא שינוי

משמעותי בערכיה (Wyrski, 1975). מנגד באביב בשלב המעבר של הצפנת המונסון והיחלשות רוחות הסחר התנודה הרבה יותר כאוטית ופחות צפויה (Webster & Yang, 1992).

אזור הניטור המרכזי והחשוב לקביעת עוצמת האל-ניניו הוא אזור 3.4 שנמצא במרכז האוקיינוס השקט בין קווי הרוחב 5 צפון ודרום ובין קווי האורך 120 ו-170 מערב. ערך המדד מציג את סטיית טמפרטורת מי האוקיינוס באזור זה מהממוצע הרב שנתי (1981-2010). מאחר שמדובר באזור בלב האוקיינוס השקט, יש הבדל גדול בין אמינות הערכים שנמדדו טרם הצבת הלוויינים הגאוסטציונריים ומצופי האימות בשלהי שנות ה-70 וראשית שנות ה-80 של המאה הקודמת, לבין ערכים שנמדדו לאחר מכן. נתונים מוקדמים יותר במחצית השנייה של המאה ה-20 מבוססים על מדידות של אוניות שחצו את האזור ונתונים מוקדמים עוד יותר מעובים על-ידי פרוקסים כמו מדד הלחץ בין דארווין (צפון אוסטרליה) לטהיטי. אם בוחנים את המתאם בין מדד אל-ניניו באוקטובר למדד האל-ניניו בינואר העוקב בתקופה בה יש ניטור לווייני רציף (1979/80 - 2025/6) מגלים מתאם גבוה ($r=0.95$). כלומר 90% משנות מדד האל-ניניו בינואר מוסברת על-ידי מדד האל-ניניו שלושה חודשים קודם לכן. זהו מתאם עצמי הגבוה באופן ניכר מזה המאפיין תנודות אטמוספריות אחרות בטווח של שלושה חודשים קדימה ולכן הוא מאפשר חיזוי עונתי מוצלח באזורים המושפעים ישירות מתנודה זו.

באשר להשפעת התנודה על ישראל נכתבו מספר מאמרים. הראשון מבניהם על-ידי Price et al. (1998) שבחנו את הקשר בין התנודה לגשמים בצפון הארץ ונתונים הידרולוגיים של ספיקות הירדן ומפלסי כנרת. בעת בחינת הערכים ההיסטוריים לא נמצא מתאם גבוה ועקבי בין התנודה למשקעים בישראל אך ב-20 השנים שבין אמצע שנות ה-70 וה-90 (מועד כתיבת המאמר) המתאם השתפר אם כי לא היה הדוק מאוד. במחקר אחר של Ziv et al. (2006) מצאו אף הם קשר חיובי בין משקעים שנתיים בישראל לאל-ניניו ומסבירים את המתאם החלש יחסית בכך שהאל-ניניו משפיע על מיקום זרם הסילון הסובטרופי, מה שמגביר את הסיכויים להיווצרות אפיקי ים סוף פעילים ושקעים קפריסאיים עמוקים, אך האפקט הזה תמיד מתחרה עם תנודות אטמוספריות באוקיינוס האטלנטי שלהן השפעה משמעותית על המשקעים בישראל. בעבודתם של Yosef et al. (2009), מצביעים החוקרים על קשר מובהק בין סך המשקעים השנתי בישראל לבין מדדי אל-ניניו שונים ובהם Nino 3, Nino 4 ו-Nino 3-4. באשר לגשמי הדרום, Dayan et al. (2021) מצאו כי לאירועי הקיצון של אפיקי ים סוף פעילים קשר חיובי לאירועי אל-ניניו.

בסדרה הארוכה והמשוחזרת של השירות המטאורולוגי (להלן, שמ"ט) הבריטי עבור טמפרטורת פני הים (HadISST1.1), הערך החודשי הגבוה ביותר שנמדד מ-1870 עד כה,



הוא 2.6 מ"צ מעל הממוצע, בנובמבר 2015. הערך העדכני הצפוי בנובמבר 2026 הוא הרבה יותר גבוה ונאמד ב-3.5 מ"צ ויותר מעל הממוצע. כלומר ערך שעוקף את השיא הקודם בכמעלה ויותר וככזה עשוי לגרום לאירועי מזג אוויר קיצוני. משום כך ולאור הספרות המצביעה על קשר משתנה בזמן בין תופעת האל-ניניו לכמויות המשקעים בישראל, מצאנו לנכון לערוך בחינה מחודשת ועדכנית של קשר זה. בחינה זו מתמקדת באירועי האל-ניניו הקיצוניים ביותר מאז שנות ה-70 של המאה ה-19.

2. מתודולוגיה

לצורך בחינת עוצמת אירועי האל-ניניו, נעשה שימוש בסדרה חודשית ארוכה של ערכי מדד אל-ניניו ¹3.4 מתוך ארכיון NOAA:

psl.noaa.gov/data/timeseries/month/data/nino34.long.anom.data

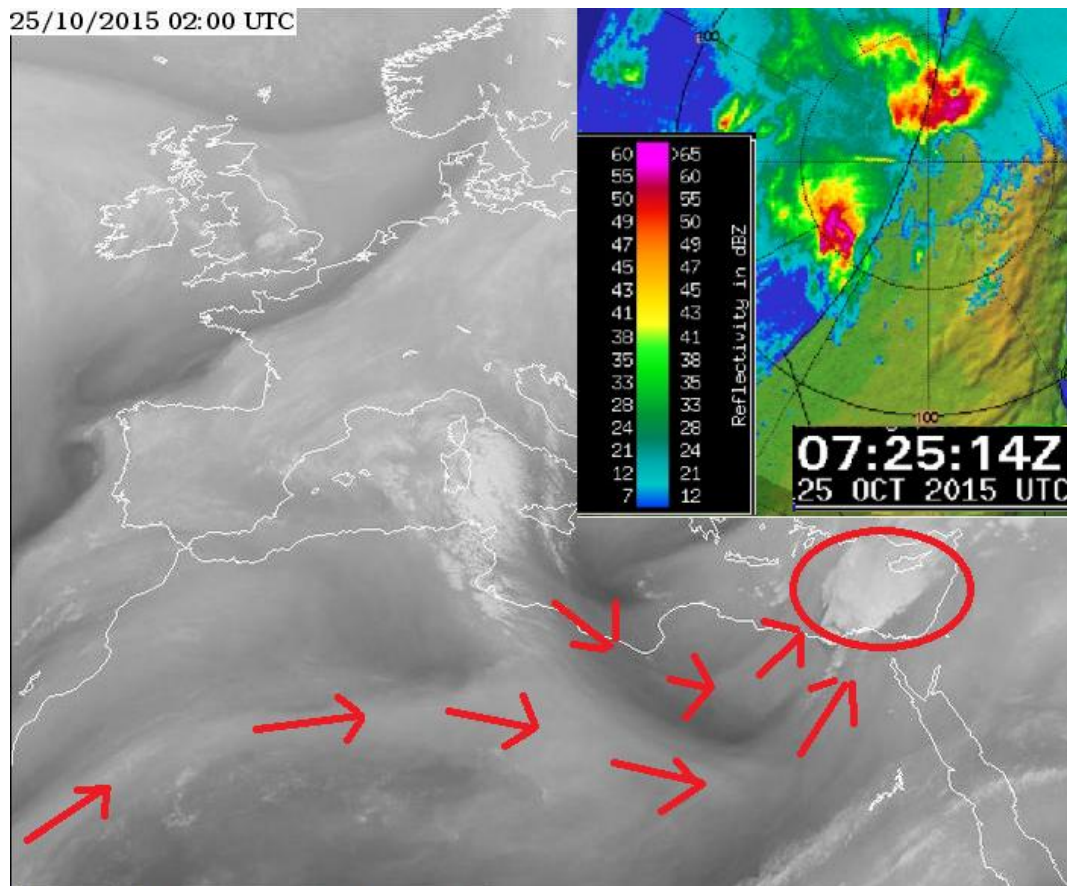
סדרה זו נבחרה ביחס לנתוני משקעים בישראל לעתים באופן רציף או תוך חלוקה לחמש קטגוריות עוצמה של אל-ניניו:

- אל ניניו חזק – סטייה של 1.5 מעלות צלזיוס (מ"צ) ומעלה מעל הממוצע.
- אל-ניניו חלש-בינוני – סטייה של 0.5-1.5 מ"צ מעל הממוצע.
- מצב ניטרלי – סטייה של עד 0.5 מ"צ מהממוצע, לשני הכיוונים.
- לה-ניניה חלשה-בינונית – סטייה של 0.5-1.5 מ"צ מתחת לממוצע.
- לה-ניניה חזקה – סטייה של 1.5 מ"צ ומעלה מתחת לממוצע.

סדרות הנתונים שנבחנו ביחס לאל-ניניו 3.4 כללו:

1. סדרת סריגית של גשמי ישראל (מקו גשם ממוצע 100 מ"מ וצפונה) ברזולוציה של קילומטר (17825 נקודות סריג), החל מעונת 1952/3. עבור כל נקודת סריג חולץ ערך המשקעים השנתי והומר לאחוז מהממוצע לתקופת הייחוס 1980/1-2009/10, אשר חושב בנפרד עבור כל נקודה. כך ניתן היה לבחון את הקשר בין ערך האל-ניניו לאחוז הגשם העונתי מהממוצע הרב שנתי, הן ברמה הנקודתית והן ברמה אזורית, כאשר הנקודות מעל קו 200 המ"מ קובצו ל-9 אזורים ברזולוציה של חצי מעלה גאוגרפית ולכל אזור חושבה סדרה עתית של הסטייה המרחבית הממוצעת בשנה ספציפית מהממוצע

¹ סדרת נתונים חודשית מ-1870/1 של אנומלית טמפרטורת המים באוקיינוס השקט בתא השטח 5° צפון – 5° דרום ו- 120° – 170° מערב ביחס לממוצע הטמפרטורות בתא שטח זה בתקופה 1981-2010.



איור 19. תמונת לוויין בתחום אורכי הגל המציגים את הלחות האטמוספירית ב-25.10.2015 בשעות לפנות בוקר עת התפתח במזרח הים התיכון "תא על" – supercell (ראו האליפסה האדומה). ניתן לראות הזנת לחות משמעותית מהאזור המשווני של אפריקה וכן ממרכז הים התיכון. למעלה מימין ניתן לראות בתמונת מכ"ם מאותו בוקר את שני המוקדים העיקריים של אותו תא שהצפוני מביניהם גרם להצפות, נזקי ברד ונזקי רוח.

5. סיכום ומסקנות

בעבודה זו בוצעה בחינה מעודכנת ומקיפה של הקשר בין תופעת האל-ניניו לבין עונות הגשם בישראל, על רקע הצפי כי עונת הגשם הקרובה 2026/27, תיפתח עם ערכי אל-ניניו גבוהים באופן חריג וכן לאור ממצאי עבר שהצביעו על כך שהקשר בין האל-ניניו למשקעים בישראל הוא דינמי ומשתנה לאורך הזמן.

בחינה זו היא המקיפה ביותר שבוצעה עד כה, לא רק מבחינת עדכניות העיבודים שנכללו בה, אלא גם מבחינת רוחב היריעה ההיסטורית, החל מראשית סדרת נתוני האל-ניניו בעונת 1870/71. בכלל זה בוצע גם עיבוי של בסיסי הנתונים על שלגים ואירועים חריגים מן המאה ה-19, על בסיס חומרים שנאספו מארכיון הנתונים של השירות המטאורולוגי.



בבחינה זו נמצא מתאם בינוני ($r \sim 0.55-0.50$) בין סטיות הטמפרטורה של אל-ניניו 3.4 מהממוצע בחודשים דצמבר וינואר לבין כמויות המשקעים העונתיות ב-50 השנים האחרונות.

גם המדדים המטאורולוגיים הנוספים שנבחנו בעבודה זו ובהם אירועי שלג וסופות גשם ברמה היומית והשעתיית, הצביעו על תמונה דומה. בכלל המדדים נמצא יתרון מסוים, גם אם לא מובהק סטטיסטית, לשנות אל-ניניו ובפרט לשנות אל-ניניו קיצוניות, בהשוואה לשנות לה-ניניה במהלך 50 השנים האחרונות. גם במדדים אלה, כאשר נבחן הקשר בחלון זמן נע, נמצא כי בעשורים האחרונים חלה עלייה במתאם, לאחר שבאמצע המאה הקודמת נרשמו ערכי מתאם סמוכים לאפס ואף נמוכים ממנו.

הנטייה החיובית, אף שאינה מובהקת סטטיסטית, להופעת אירועי קיצון בחורפי אל-ניניו מצביעה על כך שבשנים אלה קיים פוטנציאל גבוה יותר להתפתחות אירועים חריגים. פוטנציאל זה עשוי לנבוע, בין היתר, מזמינות גבוהה יותר של לחות ואנרגיה באטמוספירה, וכן מהדרמה אפשרית של זרם הסילון ומהסתברות גבוהה יותר להופעת שקעים ואפיקי רום עמוקים. לעתים פוטנציאל זה אכן מתממש בישראל ומתבטא בסופות גשם חזקות, בעוצמות גשם גבוהות ואף באירועי שלג משמעותיים. עם זאת, במקרים אחרים הוא עשוי להתממש באזורים אחרים בעולם, בעוד שבישראל שוררות רמות ברומטריות החוסמות את חדירתם של אפיקים ושקעים, ובכך מונעות את מימושו.

עונת 2026/27 צפויה להיות מושפעת מאל-ניניו חזק במיוחד, ועשויה להתאפיין בפוטנציאל גבוה לחורף גשום ורב אירועים, לרבות אירועי קיצון ואולי אף אירועי שלג, לאחר 3-4 שנים ללא אירועי שלג משמעותיים בהרי הצפון והמרכז. גם המודלים העונתיים, הלוקחים בחשבון משתנים נוספים מעבר לאל-ניניו, מזהים נטייה לעודף משקעים באזורנו כבר בחודשי ראשית עונת הגשמים.

מסמך זה יש לצטט כך:

חלפון, נ', אילוטוביץ, א', כרמונה, י', יוסף, י', גבעתי, ע'. (2026). הקשר בין ערכי אל-ניניו קיצוני למשקעים בישראל, השירות המטאורולוגי הישראלי.