



מדינת ישראל
משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
השירות המטאורולוגי

בדיקת חריגות הברד והרוחות

ב-25 באוקטובר 2015

בית דגן, נובמבר 2015

בדיקת חריגות הרוחות והברד ב-25/10/2015

תקציר

ב-25 באוקטובר 2015 פקד את ישראל מזג אוויר סוער אשר כלל רוחות עם משבים שהגיעו עד 36.8 מטר לשניה בנמל חדרה, כדורי ברד בקוטר של עד 7 ס"מ במספר מקומות ועוצמת משקעים שהגיעה במעלה גלבע עד ל-95 מילימטר בשעה למשך 10 דקות. כתוצאה ממזג האוויר הסוער נגרמו נזקים לתשתיות חברת החשמל באזור השרון. מספר רב של קווי מתח גבוה נפגעו ואלפי חוטי חשמל נקרעו. כמו כן דווח על נזקים לשטחים חקלאיים באזור שמשתרע מהשרון דרך השומרון עד בקעת בית שאן.

ניתוח האירוע מלמד על תנאים אטמוספריים חריגים שיצרו בשעות הבוקר של ה-25 באוקטובר 2015 ענני קומולונימבוס מפותחים מאוד בתצורה של "תא על" (supercell) בקוטר עשרות ק"מ שהתקדם מהשרון דרך השומרון עד בקעת בית שאן.

המשב המרבי שנמדד בחדרה היה חריג עם תקופת חזרה ממוצעת של כ-50 שנה. גם גודל הברד והפרישה המרחבית של אירועי הברד הכבד נמצאו חריגים. נמצאה התאמה טובה בין האזורים בהם התקבלו דיווחי הברד הכבד ועוצמת המשבים המקסימלית לבין ההחזרים המרביים של מכ"ם הגשם, ותיעוד מספר הברקים שמעידים על מיקומם של מוקדי הסערה. בוצעה הערכה שבמסלול התקדמות תא הסערה אפשר שהיו משבים בעוצמה שנמדדה בחדרה ואולי אף יותר, למרות שלא בכל התחנות נמדדה רוח בעוצמה כזו. לאור שיקולים אלו תוחם האזור בו, לפי מיטב ההערכה, היתה סבירות גבוהה למשבים בעוצמה של 30 מטר לשנייה ומעלה ולכדורי ברד בקוטר של 3 ס"מ ויותר ולפיכך הוגדר כאזור עם אירוע מזג אוויר חריג.

האזור העיקרי שתוחם משתרע מאזור גוש דן צפונה עד לזכרון יעקב ומשם הוא מצטמצם מזרחה עד לתחום שבין מעוז חיים לגשר.

הקדמה

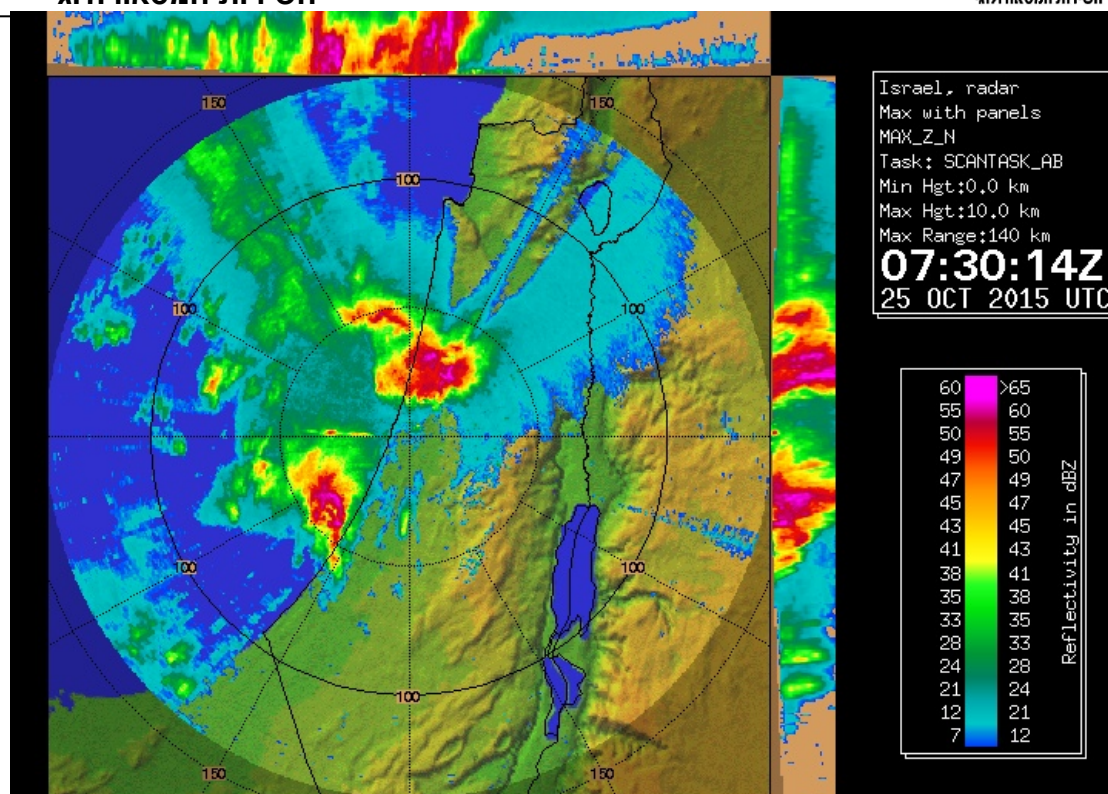
ב-25 באוקטובר 2015 פקד את ישראל מזג אוויר סוער אשר כלל רוחות חזקות, ברד כבד וגשם. כתוצאה ממזג האוויר הסוער נגרמו נזקים לתשתיות חברת החשמל באזור השרון. מספר רב של קווי מתח גבוה נפגעו ואלפי חוטי חשמל נקרעו. כמו כן דווח על נזקים לשטחים חקלאיים באזור שמשתרע מהשרון דרך השומרון עד בקעת בית שאן. בעקבות זאת התבקשו על ידי משרד החקלאות ומשרד האנרגיה לתת הערכה לגבי מידת החריגות של תופעות מזג האוויר.

הדו"ח שלהלן סוקר את נתוני הרוח ודיווחי הברד באזורים הללו ב-25/10/15 ואת מידת חריגותם.

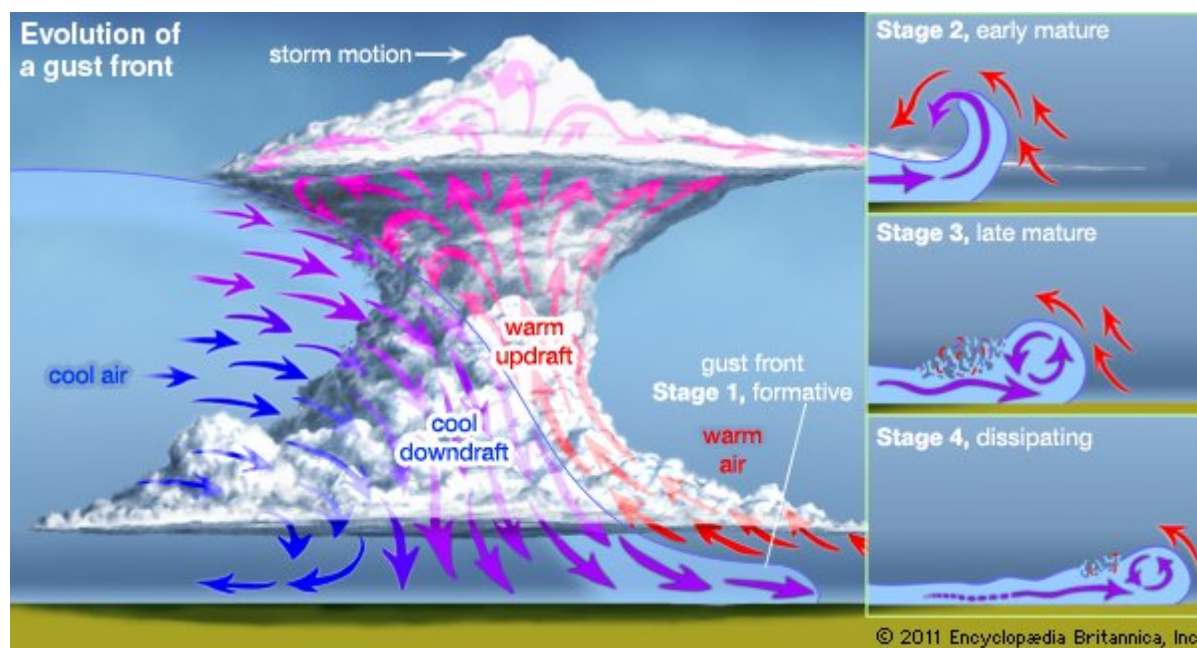
תיאור האירוע

שילוב של אפיק מכיוון מצריים בקרקע, התקרבות "חזית קרה", אפיק בשכבות הגבוהות של האטמוספירה ממערב, עם אי יציבות אטמוספירית חריפה ולחות רבה, יצרו בשעות הבוקר של ה-25 באוקטובר 2015 ענני קומולונימבוס מפותחים מאוד בתצורה של "תא על" (supercell) שקוטרו עשרות ק"מ. סופות רעמים חריפות מסוג זה ידועות בכך שהן מייצרות משבי רוח יורדים חזקים מאוד (downbursts) וחזיתות של משבים על פני הקרקע (gust front), ברד גדול ולעיתים אף טורנדו. טמפרטורת פסגות העננים הגיעו לערכים נמוכים מ- -70°C , טמפרטורה המצויה בגובה של 17 ק"מ, בדומה לעננים המתפתחים באזורים הטרופיים. תמונת מכ"ם הגשם משעה 09:30 זמן מקומי מראה כי החזרי המכ"ם הגיעו לערך של מעל 60 dBZ, ערך המתאים לעוצמת משקעים גבוהה ביותר ולברד גדול. העובדה שערכי החזר כאלו מגיעים עד לגובה של 10 ק"מ (חתכים אנכיים באיור 1) מעידים על עוצמות זרמים אנכיים קיצוניים שיכולים ליצור ברד גדול במיוחד. הזרמים האנכיים היורדים יוצרים את המשבים בפני הקרקע כפי שמתואר באיור 2. תימוכין לכך ניתן למצוא בתמונת פעילות הברקים בין 0930 ל-1000 כפי שנמדדה ע"י מערכת איכון הברקים של חברת החשמל (איור 3): תדירות גבוהה של ברקים קשורה לעוצמה חזקה של הזרמים בתוך העננים, אשר היא האחראית להיווצרות גושי הברד ומשבי הרוח.

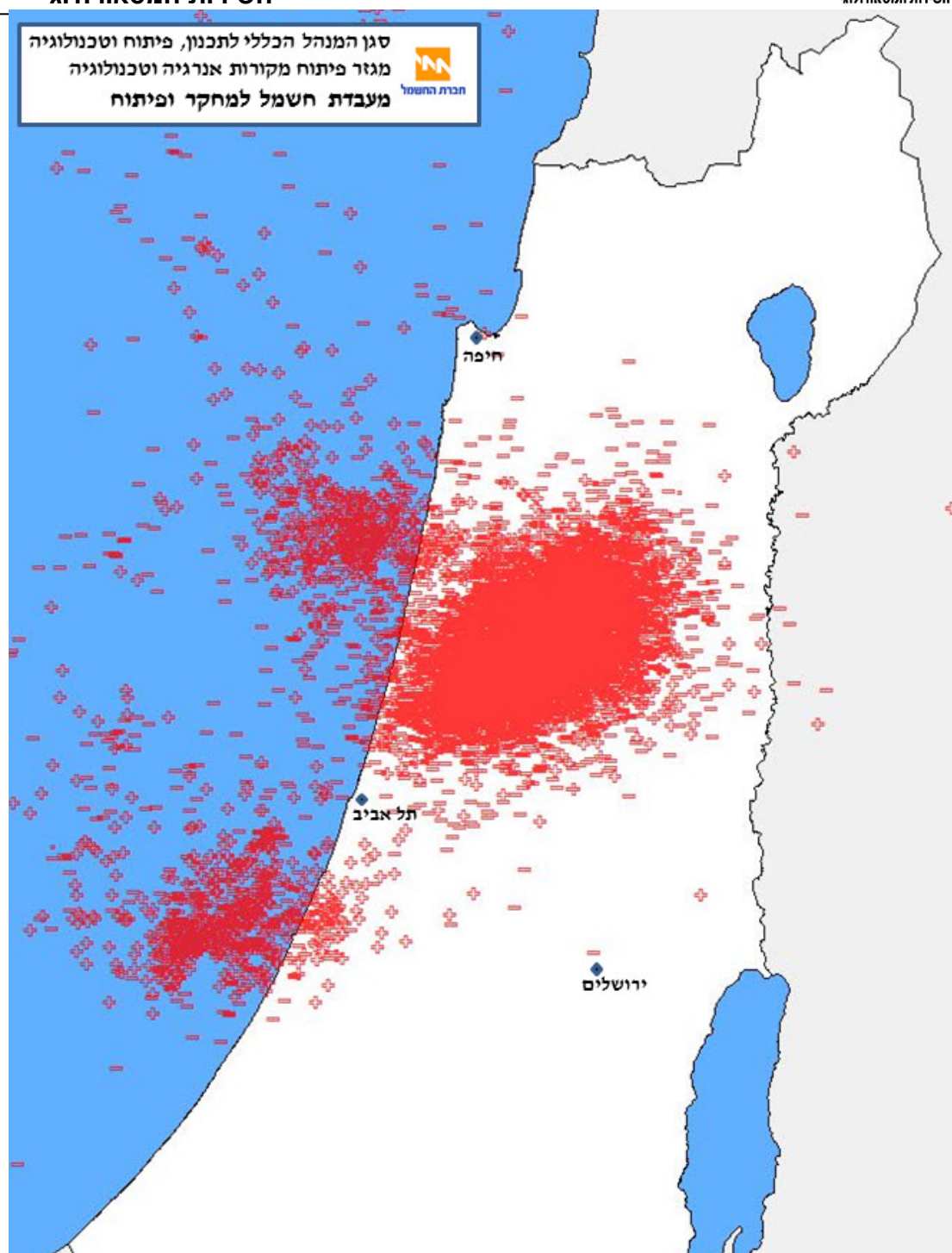
עם מעבר החזית הקרה, בכל הארץ נשבו רוחות חזקות, שהגיעו לעוצמה של יותר מ-10 מטר בשניה (35 קמ"ש) עם משבים של יותר מ-20 מטר בשניה (70 קמ"ש). אך בקרבת "תא העל" רוחות החזית תוגברו גם על ידי המשבים אשר נגרמו על ידי העננות ולפיכך הרוחות החזקות ביותר נמדדו במישור החוף ובחלק מהאזורים הפנימיים אליהם התקדם תא זה עם עוצמה של יותר מ-17 מטר בשניה (60 קמ"ש) ומשבים של יותר מ-28 מטר בשניה (100 קמ"ש). המוקדים המפותחים בתא זה גם יצרו כדורי ברד גדולים שהגיעו לקוטר של מספר סנטימטרים, כפי שדווח מאזור השרון ועד עמק בית שאן.



איור 1: תמונת החזר מירבי של מ"ם הגשם משעה 9:30 זמן מקומי. החתכים האנכיים מציינים את הערכים המירביים בכל קו אורך ורוחב.



איור 2: תאור סכמטי של תא סופת רעמים חריפה (severe thunderstorm)



איור 3: אזורי פעילות הברקים בתאריך 25/10/2015 בין השעות 9:30 ועד 10:00 בשיא מזג האוויר הסוער (באדיבות חברת החשמל). צפיפות גבוהה יותר מעידה על מספר רב יותר של ברקים ולפיכך על עננים בעלי עוצמה.

ברד

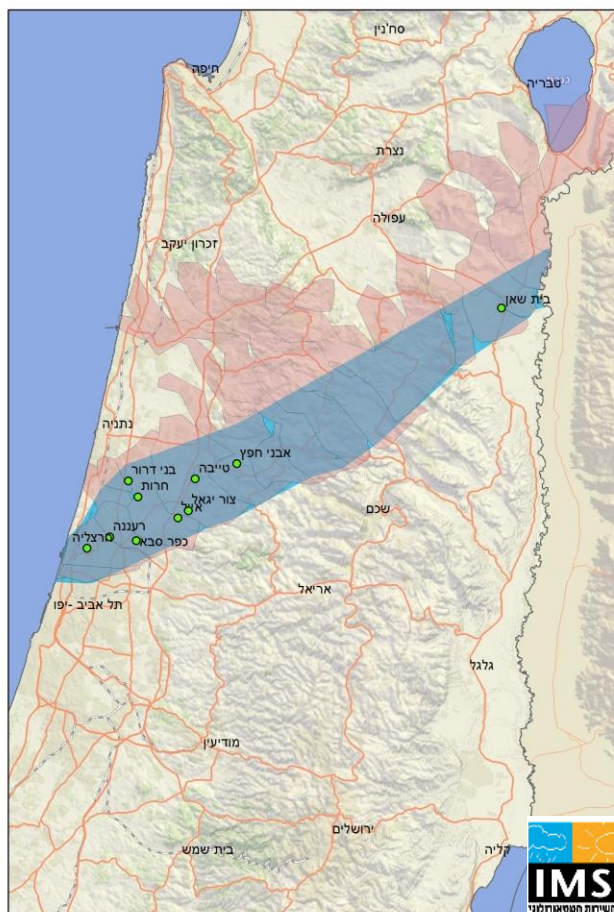
דיווחים והערכה

אין מדידה מכשירית של תופעת הברד (כפי שיש לגבי פרמטרים מטאורולוגיים אחרים כמו טמפרטורה, רוח, גשם, וכו'). לפיכך הדיווחים על ברד הם חלקיים, וניתן לקבל מידע על התופעה רק אם מועבר אלינו דיווח מיוחד כתצפית עין של צופים מטאורולוגיים. לאור זאת יש קושי בתיחום מדויק של האזורים בהם ירד ברד כבד ובהערכה לגבי גודלו.

כדורי ברד נוצרים בתוך ענני קומולונימבוס עם זרמים אנכיים חזקים. ככל שהזרמים האנכיים בענן חזקים יותר ותכולת המים בו גדולה יותר עולים הסיכויים ליצירת כדורי ברד גדולים. העננים שנכנסו לאזור השרון והעמקים היו ענני קומולונימבוס מפותחים מאוד ולכן נוצרו בהם כדורי ברד גדולים באופן מיוחד. במקומות שונים באזור השרון (איל, יקום, שפיים, כפר הס ועוד) וכן בטייבה, באבני חפץ שבמערב השומרון ובבית שאן דווח על ברד בקוטר של מספר סנטימטרים, בחלק מהמקרים (בעיקר במזרח השרון ובמערב השומרון) דווח על 4-5 ס"מ ואף 7 ס"מ.

כדי לקבוע את האזורים בהם ירד הברד הכבד נעזרנו בדיווחי הברד שהתקבלו וכן במכ"ם הגשם ובתמונת צפיפות הברקים. ההנחה היא שהאזורים בהם התקבלו החזרי המכ"ם החזקים ביותר וצפיפות הברקים היא הגבוהה ביותר הם אלה שבהם ירד גם ברד בגודל חריג (בקוטר של 3 ס"מ ויותר) והדבר תאם גם לדיווחי הברד החלקיים שקיבלנו. באזור 3 מוצגים האזורים בהם אנו מעריכים שירד ברד בגודל חריג. ניתן לראות רצועה מאזור הרצליה-רעננה צפון מזרחה דרך אזור טייבה וצפון השומרון עד לעמק בית שאן. רצועה זו מבוססת בעיקרה על דיווחי הברד וגם על תמונות מכ"ם הגשם ותמונת צפיפות הברקים. כמו כן מסומנים במפה שטחים נוספים באזור השרון, פרדס חנה, דרום עמק יזרעאל ודרום מערב הכנרת. באזורים אלה לא התקבלו אמנם דיווחים על כדורי ברד גדולים באופן מיוחד, אולם התקבלו בהם החזרי מכ"ם חזקים ביותר, בדומה למה שהיה ברצועה שצוינה. לכן קיימת סבירות שגם באזורים האלה ירד ברד חריג בגודלו.

על פי מכ"ם הגשם, לתא הסערה היה מוקד נוסף ובו החזרים המעידים על אפשרות מסוימת לברד בקוטר גדול ולמשבי רוח אשר עברו במסלול קצר יותר ודרומי יותר, מאזור אשדוד לכיוון ראשון לציון.



איור 4: האזור בו ירד להערכתנו ברד בקוטר 3 ס"מ ויותר ב-25/10/2015. מסומנים בירוק מקצת המקומות בהם דווח על ברד בגודל כזה או יותר. בתחום הכחול קיימת סבירות גבוהה לירידת ברד כזה. בתחום הורוד התקבלו החזרי מכ"ם שיכולים להעיד על תופעה כזו אך אין גיבוי בדיווחים.

חריגות אירוע הברד

אירועי ברד מתרחשים בכל עונת הגשם, אולם רוב האירועים הקיצוניים של הברד, בהם מתקבלים כדורי ברד גדולים, מתרחשים בעונת הסתיו (אוקטובר ונובמבר) ולעיתים באביב (באפריל ובמאי), כאשר אי היציבות האטמוספרית היא הגדולה ביותר ועובי האטמוספירה התחתונה (הטרופוספירה) הוא עדיין גדול.

אחת לכמה שנים מתרחש אירוע קיצוני בו מדווח על ברד בקוטר של מספר סנטימטרים (לרוב עד 5 ס"מ). בטבלה 1 מוצגות מספר דוגמאות ב-50 השנים האחרונות.

טבלה 1: אירועי ברד קיצוניים 2015-1965

תאריך	קוטר [ס"מ]	אזור
25/10/2015	7-4	השרון עד עמק בית שאן
2/11/2014	4-3	קריות וגליל מערבי
4/4/2006 (טורנדו בגליל מערבי)	3-2	נהרייה
29/10/2004	4-3	מבשרת ציון
15-16/10/2002	5-4	גוש דן
18/10/1997	5	באר שבע
17/10/1987	4	הר חברון
26-27/9/1981	4	גוש עציון
28/12/1976	3	אזור הקריות
17/10/1967	5-4	עמק האלה

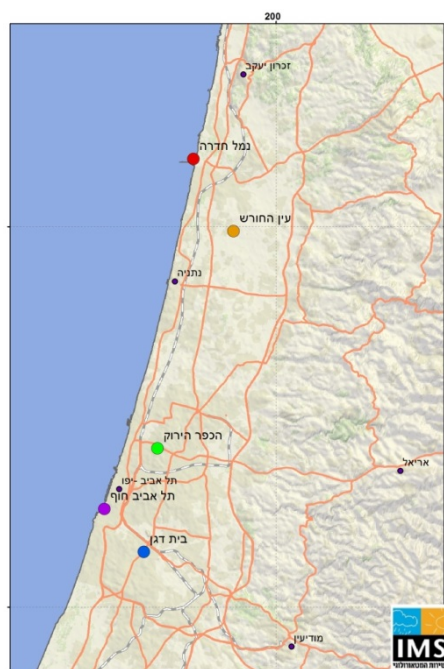
ניתן לראות שאירוע ברד קיצוני מתרחש אחת לכמה שנים באזור כלשהו בארץ ואין חריגות בעצם התרחשות התופעה. עם זאת, אירוע מסוג זה מתרחש בכל פעם במקום שונה, ובהתייחס לאזורים הספציפיים בהם ירדו באירוע של ה-25 באוקטובר כדורי ברד גדולים באופן מיוחד מדובר בתופעה חריגה יותר עם זמן חזרה ארוך יותר. פרמטרים חריגים נוספים באירוע הנוכחי הם עצם גודלם של כדורי הברד (למעלה מ-5 ס"מ בחלק מהמקומות) וכן התפרושת הנרחבת של התופעה (לרוב האזור בו יורד ברד חריג בגודלו הוא מצומצם).

משבי רוח

דיווחים והערכה

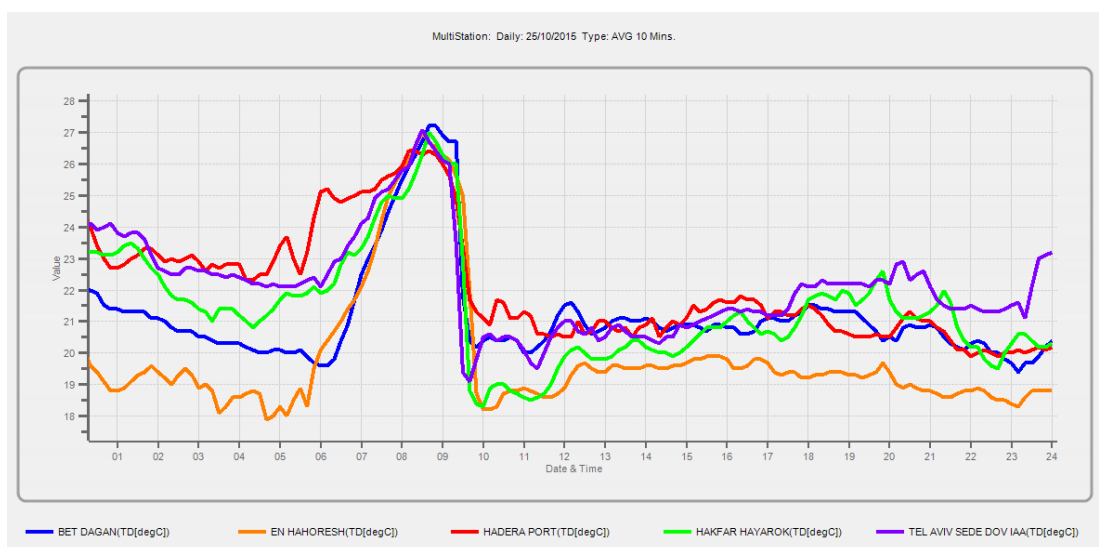
נתוני רוח מתקבלים כיום מתחנות אוטומטיות בהן קיימת מדידה (כמעט) רציפה של רוח. במדידות הרוח נמדדים ערכי רוח רגעיים ומחושבת רוח ממוצעת. "עוצמת הרוח" הוא הערך הממוצע שחושב, "משב הרוח (העליון)" הוא הקריאה הגבוהה ביותר של הערכים הרגעיים. קשה יותר לקבוע את עוצמתם של משבי הרוח באזור מבוקש מאשר את עוצמת הרוח, כיוון שמשבי הרוח משתנים בצורה חריפה יותר במרחב מהשתנות הרוח הממוצעת ולכן יש הבדלים גדולים בעוצמת המשב על פני מרחקים קטנים. הדבר מודגש באירוע כזה בו הרוחות הן בעוצמה מאוד גבוהה.

כדי לנסות ולהעריך את עוצמת משבי הרוח באזור נבדקו מהלך הרוח ומהלך הטמפרטורה במספר תחנות במישור החוף, ומניתוח הנתונים מתברר שלמעשה עברה את האזור חזית בסביבות השעה 0930.

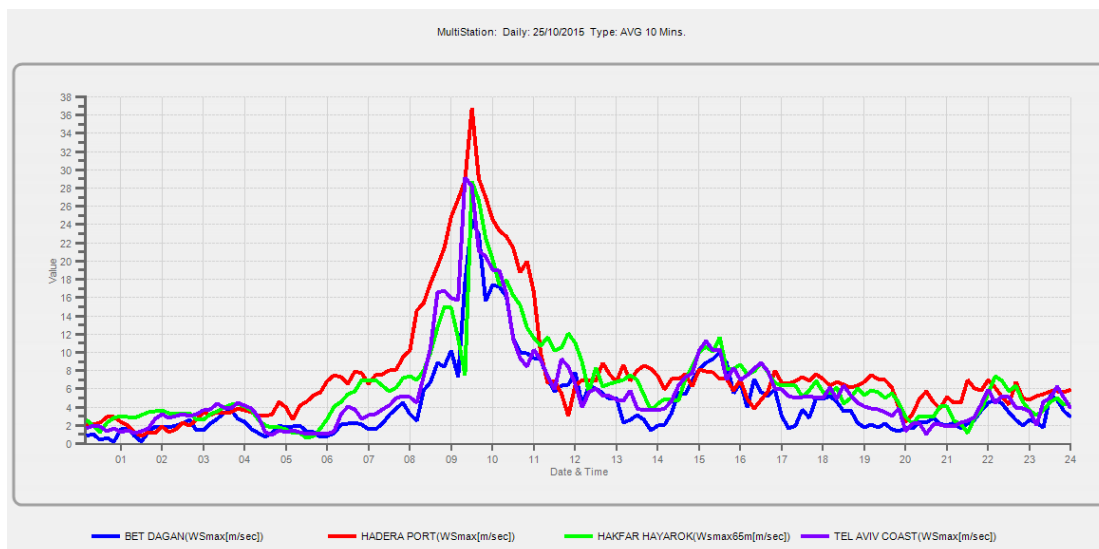


איור 5: התחנות במישור החוף ששימשו לבחינת האירוע. צבעי התחנות במפה תואמים את צבעי התחנות בגרפים שבאיורים 6 ו-7

הטמפרטורה לפני מעבר החזית היתה גבוהה (מעל 25 מ"צ) בכל התחנות, והיא ירדה לאחר מעבר החזית ביותר מ-5 מ"צ (איור 6). מהירות הרוח, הן בממוצע של 10 דקות והן של המשבים הרגעיים, התחזקה משמעותית עם מעבר החזית בו זמנית כמעט בכל התחנות (באיור 7 מוצגת מהירות המשבים הרגעיים).



איור 6: מהלך הטמפרטורה ב-5 תחנות במישור החוף ב-25 באוקטובר 2015. הציר האופקי הוא ציר הזמן. הציר האנכי מציג את הטמפרטורה במעלות צלסיוס.



איור 7: מהלך מהירות המשבים הרגועים ב-4 תחנות (צבעי התחנות נשמרו מאיור 6. תחנת תל אביב חוף מחליפה את תחנת שדה דב). הציר האנכי מציג את ערך המהירות במטר בשנייה.

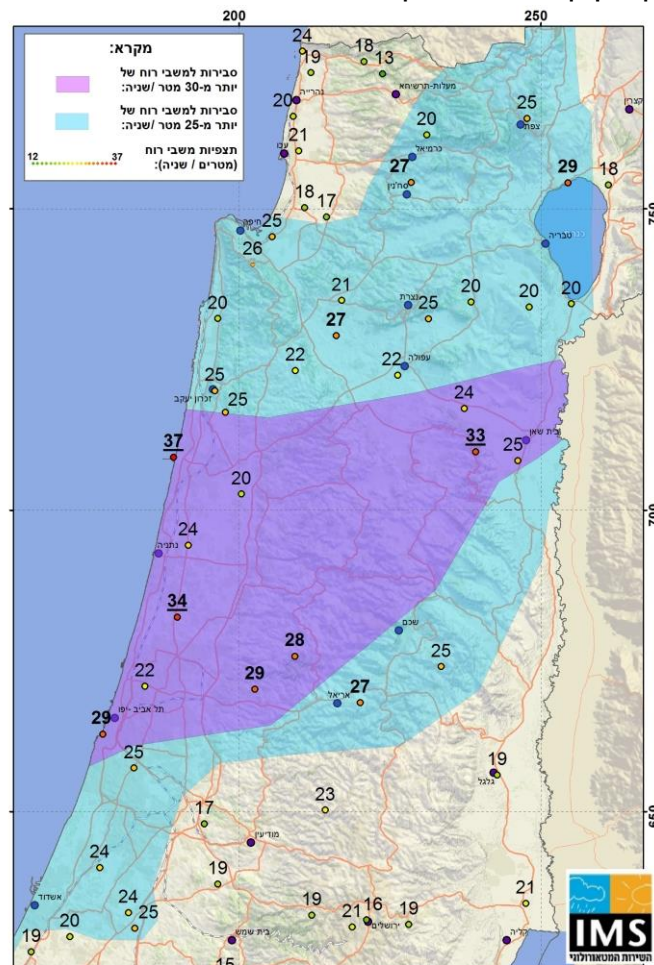
עדויות אלו מלמדות שהיקף התופעה היה נרחב ולא נבע רק מפעילות של ענן בודד. עם זאת, ניתן לראות שונות בין הערכים הנומינליים של מהירות הרוח בתחנות.

בנמל חדרה נמדדה עוצמת רוח (בממוצע של 10 דקות) של 28.5 מטר בשניה (103 קמ"ש) ומשב של 36.8 מטר בשניה (132 קמ"ש) בשעה 09:30. אלו ערכים העומדים בקריטריון של "סופה עזה" (דרגה אחת מתחת להוריקן). מוקד תא הסערה, אשר היה אחראי למשבים החזקים ביותר, התקדם בכיוון כללי ממערב-דרום-מערב למזרח-צפון-מזרח והגיע עד לעמק הירדן כשעה מאוחר יותר. בשעה 1020 נמדד במעלה גלבוע משב של 32.9 מטר בשניה (118 קמ"ש). ערכים גבוהים יחסית של משבים נמדדו בקרני שומרון (27.7 מטר בשנייה – 100 קמ"ש) ובשערי תקווה (28.7 מטר בשנייה – 103 קמ"ש), במסלול התקדמות התא.

העובדה שיש שונות בין מדידות עוצמת משבי הרוח בתחנות אינה בהכרח משקפת את השונות המרחבית של שדה הרוח. משב רגעי נובע, מעבר לתנאי הרקע שבזמן מעבר החזית, גם בפעילות מקומית של ענני סערה. לאור העובדה שנגרמו נזקים חמורים ממשבי הרוח בצד ירידת ברד כבד, ולאור העובדה שבהיבט של משבים רגועים התחנות מהוות רק דגימה במרחב, יהיה זה סביר להניח שהערכים שנמדדו בחדרה ואולי אף גבוהים מהם התרחשו במספר מקומות (אם כי לא בכולם) בטווח התקדמות תא הסערה.

בהתאם להערכה זו ובעזרת נתוני מכ"ם הגשם ביצענו תיחום של האזור בו התקבלו משבי הרוח החזקים ביותר (איור 8). ההנחה היא שאלו התקבלו בקדמת העננות המפותחת. בהתאם לכך, ועל פי הנתונים המדודים, מסומן (בסגול) האזור בו היו, לפי הערכתנו, משבים

של 30 מ/ש ומעלה. השטח משתרע מרצועת החוף שבין תל אביב לבין זיכרון יעקב ומזרחה אל אזור השרון, צפון השומרון, אום אל פחם עד לעמק בית שאן. בחלק מהתצפיות בשטח זה נמדדו אמנם משבים נמוכים מ-30 מ/ש, אולם ההנחה היא שבכל האזור הזה קיימת סבירות גבוהה למשבים חזקים יותר, לפחות בחלק מהמקומות. באזורים שמחוץ לתחום הזה קיימת סבירות נמוכה למשבים של 30 מ/ש ומעלה, למעט אזור שבין אשדוד לראשון לציון בו עבר לפרק זמן קצר יותר המוקד הדרומי של התא.



איור 8: מהירות משבי הרוח המקסימליים ב-25/10/2015 בסגול מתוחם המוקד העיקרי של תא הסערה בו למיטב ההערכה יש סבירות גבוהה למשבי רוח בעוצמה של 30 מטר בשניה ומעלה (ראו הסבר בטקסט). הערכים מציגים את עוצמת המשב המקסימלי שנמדד בתחנות.

חריגות מהירות משבי הרוח

בשל מיעוט תחנות המדידה ומשך הזמן הקצר של מדידות הרוח בתחנות הללו (עד 10 שנים בדרך כלל) קשה לקבוע את מידת החריגות של משבי הרוח באזור בו היו משבי הרוח החזקים. בטבלה 2 בעמוד הבא מוצגים נתוני מהירות הרוח העשר דקתית, מהירות המשבים והערכה ראשונית לגבי ההסתברות למשבים במספר תחנות. מבין כל הערכים שנמדדו

בתחנות, בולט הערך של המשב המקסימלי בנמל חדרה גם בעוצמתו המוחלטת וגם בעובדה שהוא נדיר גם ביחס לסדרת השנים הארוכה יחסית (17 שנים). על פי הערכה ראשונית המבוססת על ניתוח סדרת שנים זו, למשב בערך כזה תקופת חזרה ממוצעת של כ-50 שנה (הסתברות שנתית של כ-2%). לערך המשב המקסימלי בקרני שומרון תקופת חזרה ממוצעת של 35-40 שנים (הסתברות שנתית של 2.5-3%). במעלה גלבוע המשב שנמדד (33 מ/ש) אינו חריג ובעל תקופת חזרה ממוצעת של 4-5 שנים, אולם הדבר נובע ככל הנראה ממיקומה של התחנה באזור גבוה שהוא רגיש לרוחות חזקות. ידוע שערך הסף לחריגות באזורים שממזרח לקו החוף נמוך יותר מזה שבחדרה (פרט למקומות הגבוהים). בהתאם לכך, בכל האזור שמתוחם עם משבים של 30 מ/ש ומעלה ההערכה היא שקיימת סבירות גבוהה לכך שב-25/10/15 היו משבי רוח חריגים.

כאמור, ההערכות לעיל הן הערכות ראשוניות בלבד בהיותן מבוססות על ניתוח נתוני התחנות האוטומטיות להן סדרה קצרה יחסית (סדרות אלו אינן כוללות את עונת 1991/92 שבה נמדדו ערכי מהירות רוח קיצוניים). **ראוי לציין כי אף אחד מהערכים שנמדדו בפועל**

לא חורג מערכי התקן הישראלי ת"י 414: עומסים אופניניים בבניינים: עומס רוח¹

טבלה 2: מהירות הרוח במספר תחנות ב-25/10/15 וההסתברות למהירות המשב המקסימלי. לשם השוואה מוצגים גם הערכים המופיעים בת"י 414.

תחנה	מהירות ממוצעת 10 דקות מרבית (מטר בשניה)	מהירות הרוח הבסיסית ² בת"י 414 (מטר בשניה)	מהירות המשב המקסימלי (מטר בשניה)	אומדן הסתברות ³ למהירות המשב המקסימלי בכל שנה בודדת	אומדן מהירות המשב העליון ⁴ בת"י 414 (מטר בשניה)
חדרה	28.5	30	36.8	~2%	45
תל אביב חוף	22.2	30	29.1	~12%	45
שערי תקווה	15.0	27	28.7	~9%*	40
קרני שומרון	13.3	30	27.7	~2.5-3%	45
מעלה גלבוע	18.0	33	32.9	~23%	50
בית דגן	16.1	27	24.6	~50%	40
הכפר הירוק	15.1	27	22.2	~18%*	40
אשחר	17.9	30	27.4	~15%	45

¹ תקן ישראלי ת"י 414, מכון התקנים, דצמבר 2008

² מתייחסת לממוצע המהירות במשך זמן של 10 דקות, לתקופת חזרה ממוצעת של 50 שנה (כלומר, להסתברות שנתית של 2%), לגובה של 10 מטר מעל הקרקע, בשטח חשוף עם אורך חספוס 5 ס"מ.

³ מודגש שחישוב ההסתברות מבוסס על נתוני התחנות האוטומטיות בתקופה קצרה ועל כן אינו מותאם בשלב זה לערכי התקן.

⁴ למעשה אין בתקן מפה למשב העליון אך ההנחיה היא לכפול את ערך המהירות הבסיסית ב-1.5 בשטח חשוף. לפי כלל זה חושבו הערכים בקירוב בעמודה זו.

* הערכה גסה לאור תקופת מדידות קצרה במיוחד

סיכום

ב-25 באוקטובר 2015 פקד את ישראל מזג אוויר סוער אשר כלל רוחות חזקות וברד כבד. בנמל חדרה נמדד משב במשך 2 שניות בשיעור של 36.8 מטר בשניה והממוצע במשך 10 דקות היה 28.5 מטר בשניה. אלו ערכים הנופלים בקטגוריה של "סופה עזה", דרגה אחת מתחת להוריקן⁵. במקביל התקבלו במספר מקומות דיווחים על כדורי ברד בקוטר חריג של 4-7 ס"מ. ההערכה היא שבחלקו הגדול של השטח בו דווחו הנזקים היתה חריגות בעוצמת משבי הרוח או בברד שפקד את האזור. ברצועה בה ירד הברד הכבד היו גם משבי רוח קיצוניים, כך שבאזור זה היתה חריגות בשני המשתנים (איור 9). יחד עם זאת, גם עוצמות הרוח הממוצעות וגם המשבים שנמדדו לא חרגו מגבולות התקן הישראלי ת"י 414.

⁵ לפי סקלת בופור שהיא סקלת עוצמת הרוח הרוח המקובלת, ערך ממוצע של 10 דקות בשיעור של 33 מטר בשניה מוגדר כהוריקן.



21779015 סימוכין 18.11.2015