

בחינת רגישות להגדרת נקודת ייחוס במודל CFD | מקרה בוחן

תאריך בדיקה

06.06.2024

עורך בדיקה

אסף טורק

מטרת הבדיקה

בחינת רגישות הממצאים להערכת נוחות מכנית ובטיחות הולכי רגל מפני רוחות, כתלות במיקום ובגובה נק' ייחוס במודל CFD.

תאור הבדיקה

- שימוש במקרה בוחן של פרויקט בירושלים.
- חישוב שכיחויות לרוח שקולה שמעל מהירויות 6,9,15,20 מ' לשניה.
- החישובים חולקו ל-3 קטגוריות:
 - נק' ייחוס בגובה 10 מ' מעל הקרקע, נתוני תחנת גבעת רם עם מכפיל 1.17.
 - נק' ייחוס בגובה 150 מ' מעל הקרקע, נתוני תחנת גבעת רם מותאמים לגובה 150 מ'.
 - נק' ייחוס בגובה 150 מ' מעל הקרקע, נתוני אטלס פוטנציאל אנרגיית הרוח לגובה 150 מ' של אזור הפרויקט.
- עבור כל קטגוריה הוגדרו נק' ייחוס מחוץ לתחום הבינוי ב-8 כיווני שמיים.
- עבור קטגוריות הייחוס בגובה 150 מ' נבחרה גם נק' ייחוס אוטומטית לגובה זה.
- הצגת הממצאים, בחינת הבדלים בסדרי גודל, בחינת הבדלים בעקביות הממצאים.
- ראה/י פירוט נוסף בהמשך.

מסקנות

- סדרי הגודל של השכיחויות החזויות דומים בכל 3 קטגוריות הבדיקה.
- עקביות ממצאי הבדיקה:
 - בקטגורית הייחוס בגובה 10 מ' מידת העקביות **נמוכה**, במיוחד עבור השכיחויות למהירויות רוח שקולה הגבוהות (20 מ' לשניה), ההבדלים בין התחזיות מסתכמים בעשרות אחוזים, לרבות הבדלים במיקום הגברת הרוחות.
 - בקטגוריות הייחוס בגובה 150 מ' מידת העקביות **גבוהה** עבור השכיחויות למהירות רוח שקולה בכל הקטגוריות, ההבדלים בין התחזיות מסתכמים באחוזים בודדים, ללא שוני במיקום הגברת הרוחות.
- לא ניתן להסתמך על ממצאי בדיקה שמקורם בנק' ייחוס בגובה 10 מ' מעל הקרקע שכן אין עקביות בממצאים.
- נקודת ייחוס אוטומטית בגובה 150 מ' מספקת ממצאים הקרובים ביותר לממוצע הממצאים לקטגוריות ייחוס אלה.

השערות

- נק' ייחוס בגובה הקרוב אל הטופוגרפיה (למשל 10 מ') מושפעות במידה רבה מקירבה רנדומלית אל מאפייני טופוגרפיה שונים (פסגת הר, עמק, ואדי, צלע הר וכו').
- בנק' ייחוס במרחק גבוה מהטופוגרפיה (למשל 150 מ'), הרנדומליות בקירבה אל מאפיינים טופוגרפיים שונים משפיעה על הממצאים באופן זניח.
- ככל שהמאפיינים הטופוגרפיים במודל בעלי אופי משתנה גבוה יותר, כך מידת חוסר העקביות של הממצאים בנק' ייחוס בגובה 10 מ' מעל הקרקע צפויה להיות גבוהה יותר.

הערות

- מסמך זה מציג ממצאים על פי מקרה בוחן אחד, אך הבדיקה בוצעה עבור 4 מקרי בוחן נוספים בהם הממצאים חזרו על עצמם ותמכו במסקנות לעיל באופן חד משמעי.

בחינת רגישות להגדרת נקודת ייחוס במודל CFD | מקרה בוחן

המלצות בנוגע להגדרת נק' ייחוס במודל CFD

- הגדרת נק' ייחוס בגובה של 150 מ' מעל פני הקרקע, או לכל הפחות 100 מ'.
- אם ניתן, לעשות שימוש בהגדרה של נק' ייחוס אוטומטית לגובה הנבחר, תוך שימוש בנתונים מטאורולוגיים מתאימים.

בחינת רגישות להגדרת נקודת ייחוס במודל CFD | מקרה בוחן

תכולת מודל שהוזנה אל תוכנת ה-CFD

- מבנים (גובה מבנה מקסימלי 125 מ' מעל פני הקרקע).
- טופוגרפיה.

הגדרת נקודות ייחוס בתחומי מנהרת הרוח הווירטואלית

- במגוון נקודות הנמצאות מחוץ לטווח הבינוי, סה"כ 16 נקודות.
- ב-8 כיווני שמיים (N,NE,E,SE,S,SW,W,NW).
- לכל כיוון שמיים ב-2 גבהים ביחס לטופוגרפיה (10 מ', 150 מ').

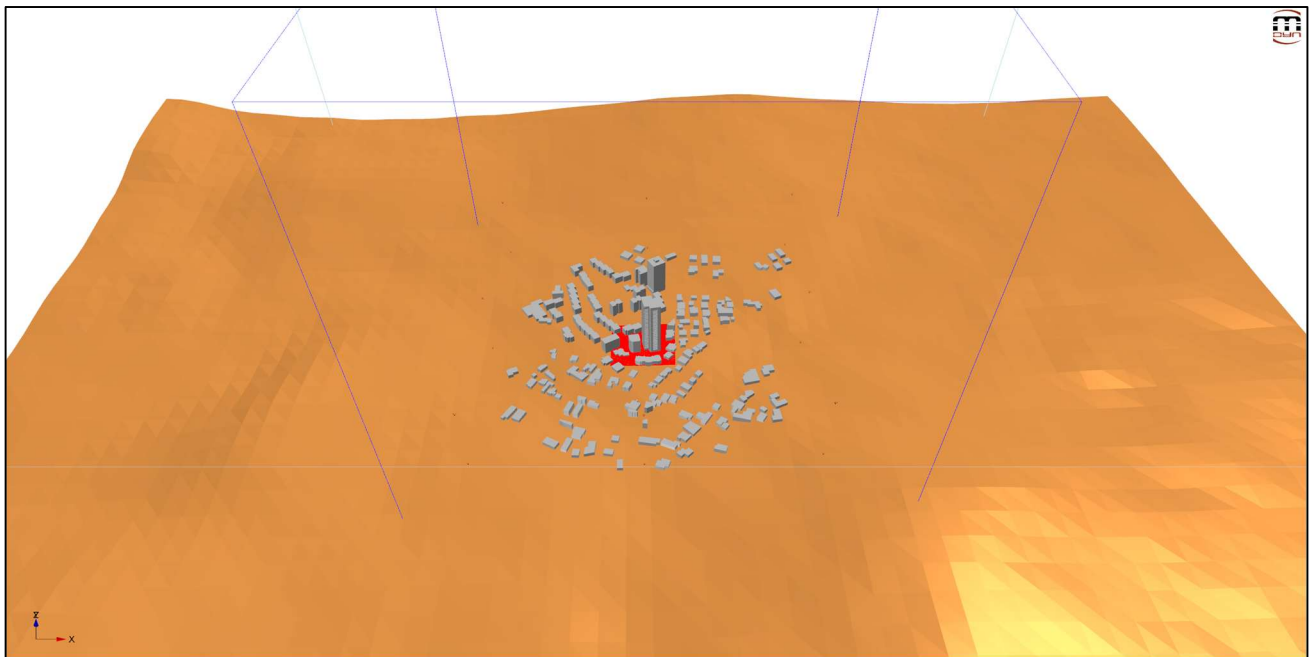
הרצת חישובי CFD

- עבור 12 כיווני שמיים (בקפיצות של 30 מעלות).
- מקדם חספוס עיר בצפיפות גבוהה לכל הכיוונים.

הגדרת אזור בדיקה

- במפלס הקרקע, בגובה 1.5 מ' מעל פני הקרקע, בשטח הפרויקט + תוספת של כ-20 מ' סביבו.

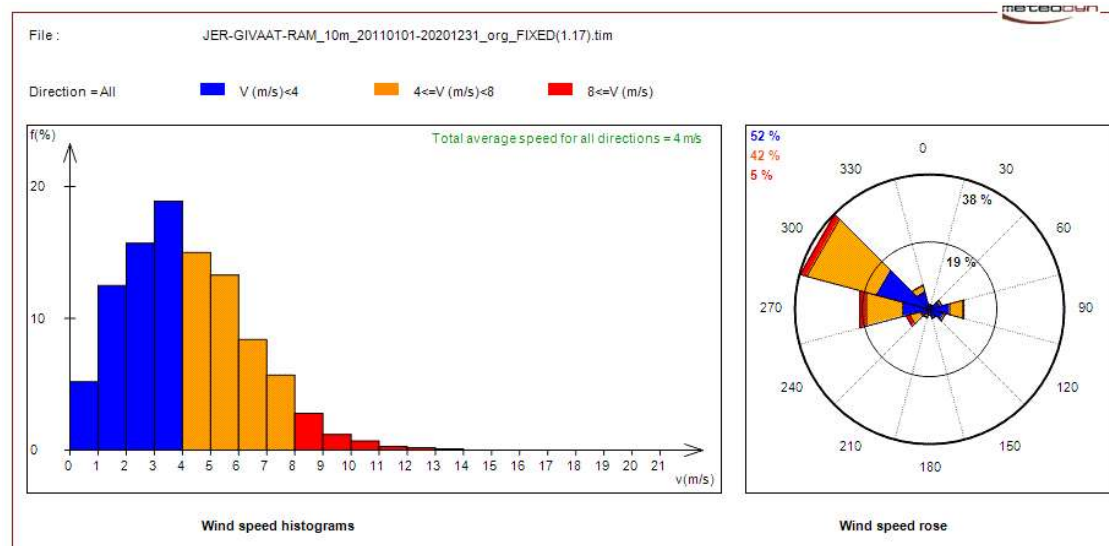
הדמיה מתוך מנהרת הרוח הווירטואלית בתוכנת ה-CFD



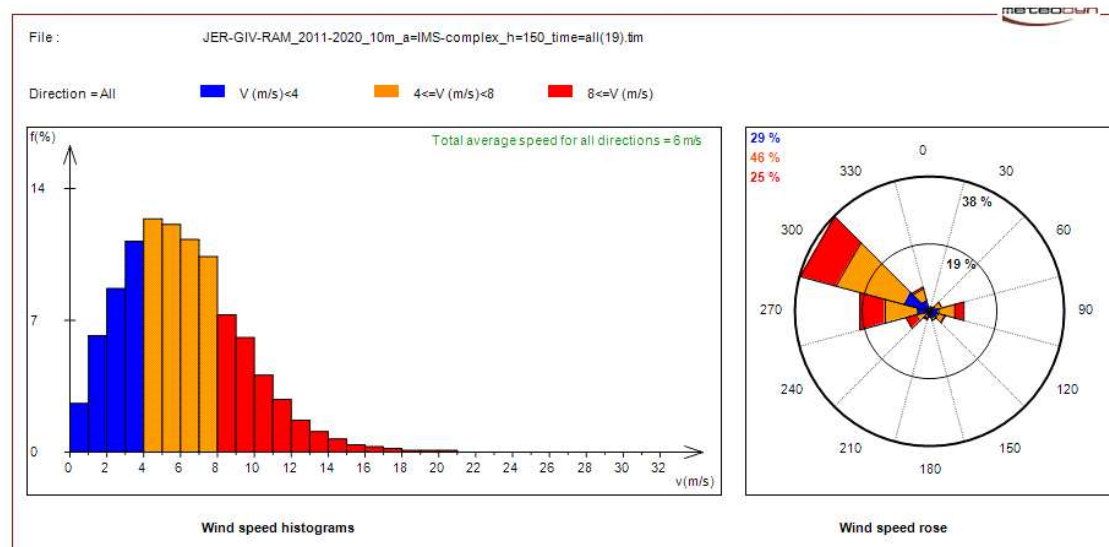
בחינת רגישות להגדרת נקודת ייחוס במודל CFD | מקרה בוחן

נתונים מטאורולוגיים שהוזנו למודל

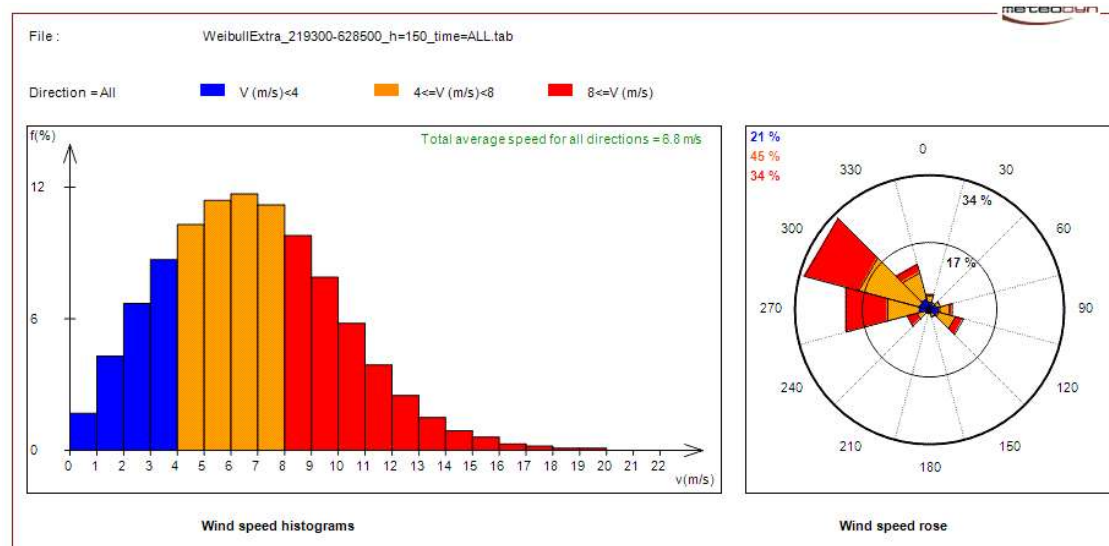
- קובץ נתונים מטאורולוגיים 1 | נתוני תחנת גבעת רם לשנים 2011-2020, מרווחי מדידה 10 דקות, הותאמו עם מכפיל של 1.17 בדומה להנחיות ירושלים יוני 2024 | עבור נק' ייחוס בגובה 10 מ'.



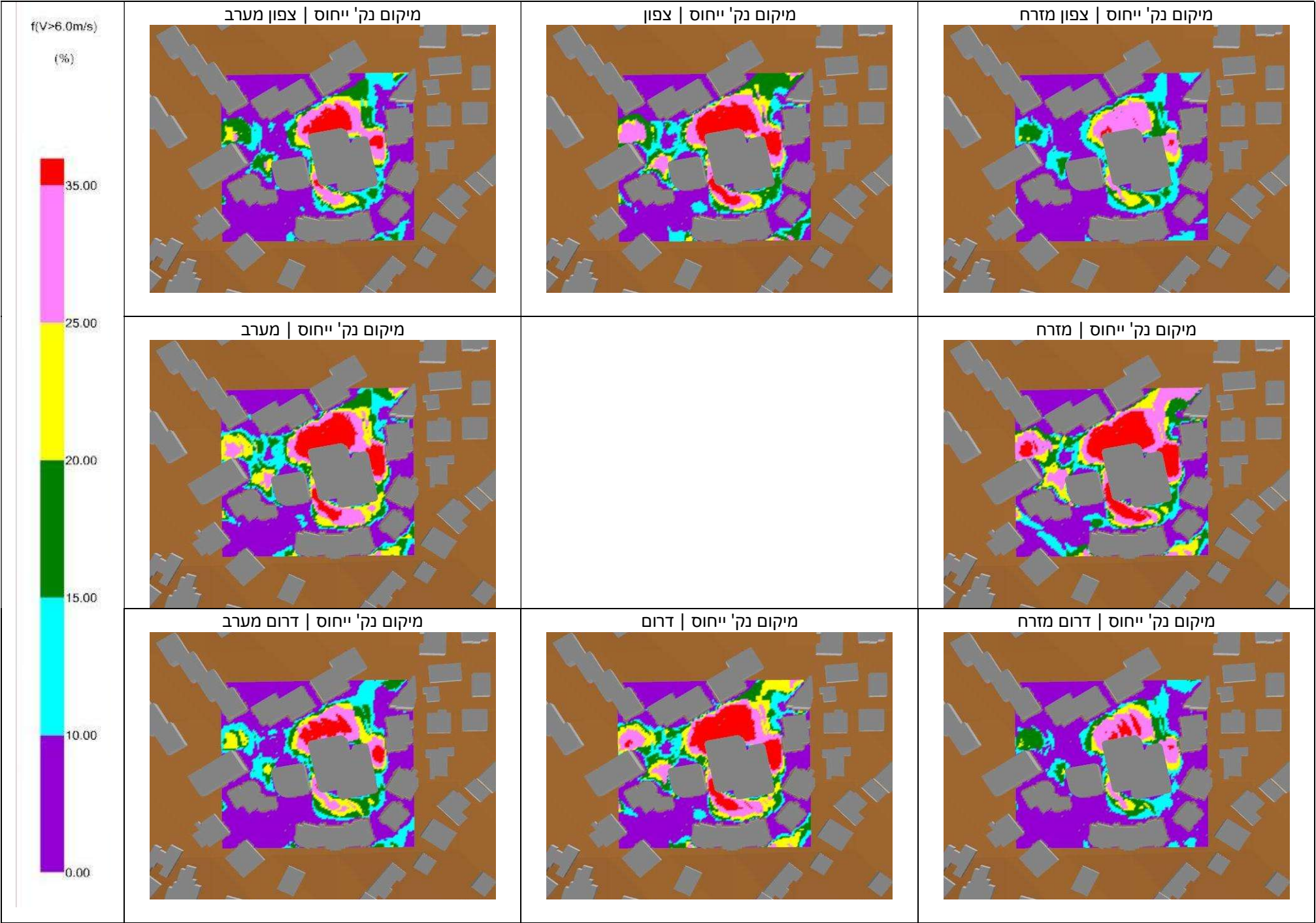
- קובץ נתונים מטאורולוגיים 2 | נתוני תחנת גבעת רם לשנים 2011-2020, מרווחי מדידה 10 דקות, הותאמו לגובה 150 מ' עם נוסחת פרופיל הרוח המקובלת | עבור נק' ייחוס בגובה 150 מ'.



- קובץ נתונים מטאורולוגיים 3 | נתוני אטלס פוטנציאל אנרגיית הרוח עבור קואורדינטות הפרויקט (המרוחק כ-2.4 ק"מ מתחנת גבעת רם, ונמוך בכ-70 במונחי גובה מעל פני הים) | עבור נק' ייחוס בגובה 150 מ'.



ממצאי בדיקה לנקודות ייחוס בגובה 10 מ' | נתוני תחנת גבעת רם | עבור שכיחויות לרוח שקולה במהירויות שמעל 6 מ' לשניה



סטטיסטיקה לשכיחויות החזויות לפי מיקום נק' הייחוס

REF_DIR	f (Veq>6) AVG	f (Veq>6) MAX
n	15.31	54.60
ne	9.63	42.85
e	18.42	54.90
se	9.36	41.37
s	17.15	52.86
sw	11.23	45.63
w	16.20	51.56
nw	11.52	43.42

סטטיסטיקה עבור השכיחות הממוצעת החזויה לכל כיווני נק' הייחוס

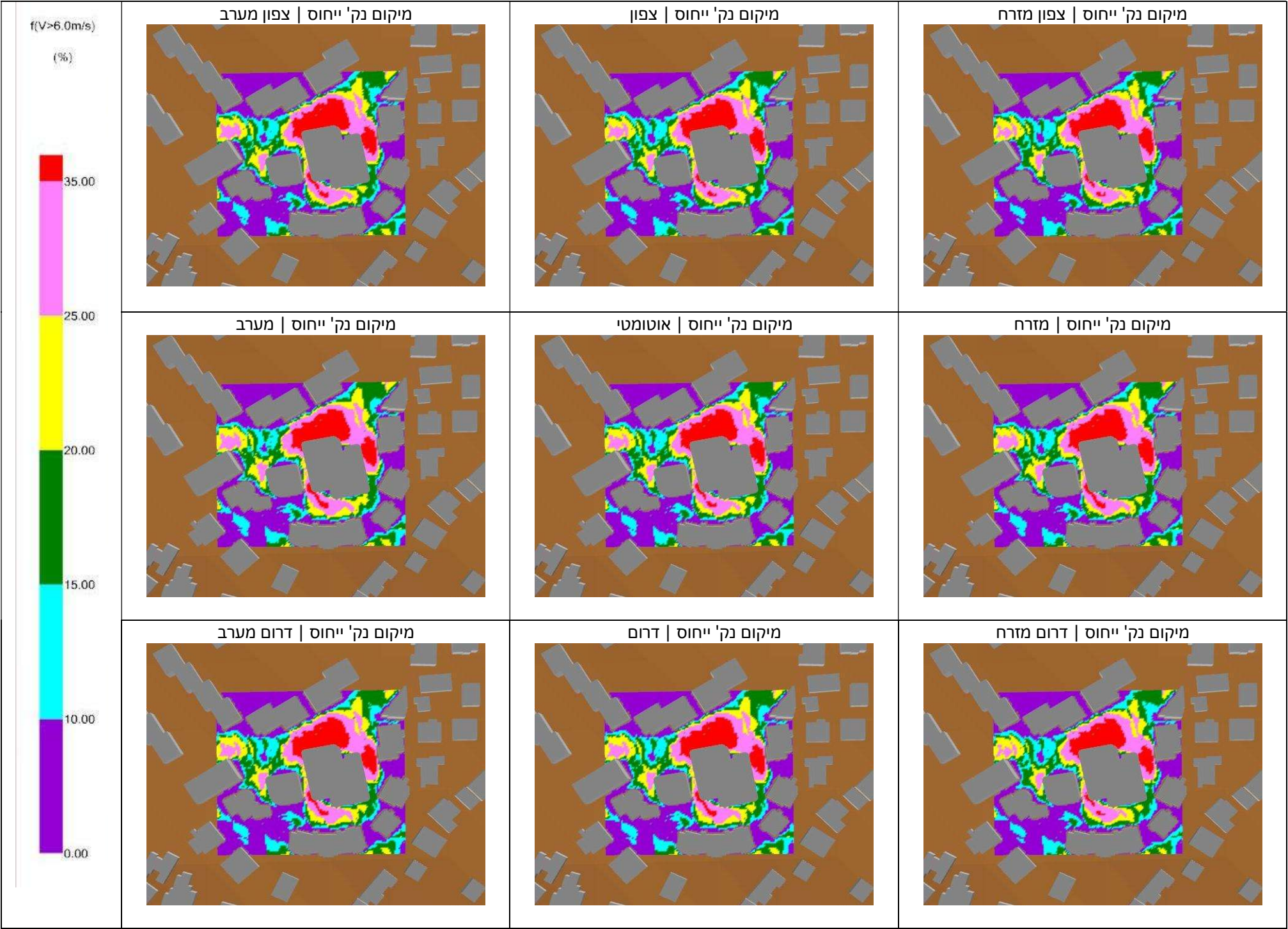
REF_DIR	f (Veq>6) AVG MIN	f (Veq>6) AVG MAX	f (Veq>6) AVG AVG	f (Veq>6) AVG STDV	f (Veq>6) AVG STDV / AVG	f (Veq>6) AVG MAX - MIN
ALL	9.36	18.42	13.60	3.34	24.54%	9.05

סטטיסטיקה עבור השכיחות המקסימלית החזויה לכל כיווני נק' הייחוס

REF_DIR	f (Veq>6) MAX MIN	f (Veq>6) MAX MAX	f (Veq>6) MAX AVG	f (Veq>6) MAX STDV	f (Veq>6) MAX STDV / AVG	f (Veq>6) MAX MAX - MIN
ALL	41.37	54.90	48.40	5.28	10.92%	13.53

מידת העקביות של הממצאים בינונית

ממצאי בדיקה לנקודות ייחוס בגובה 150 מ' | נתוני תחנת גבעת רם | עבור שכיחויות לרוח שקולה במהירויות שמעל 6 מ' לשנייה



סטטיסטיקה לשכיחויות החזויות לפי מיקום נק' הייחוס

REF_DIR	f (Veq>6) AVG	f (Veq>6) MAX
n	15.45	50.16
ne	15.28	50.16
e	16.07	50.57
se	15.30	46.28
s	16.04	50.56
sw	15.92	50.39
w	16.34	51.21
nw	15.84	50.56
AutoRef	15.79	50.56

סטטיסטיקה עבור השכיחות הממוצעת החזויה לכל כיווני נק' הייחוס

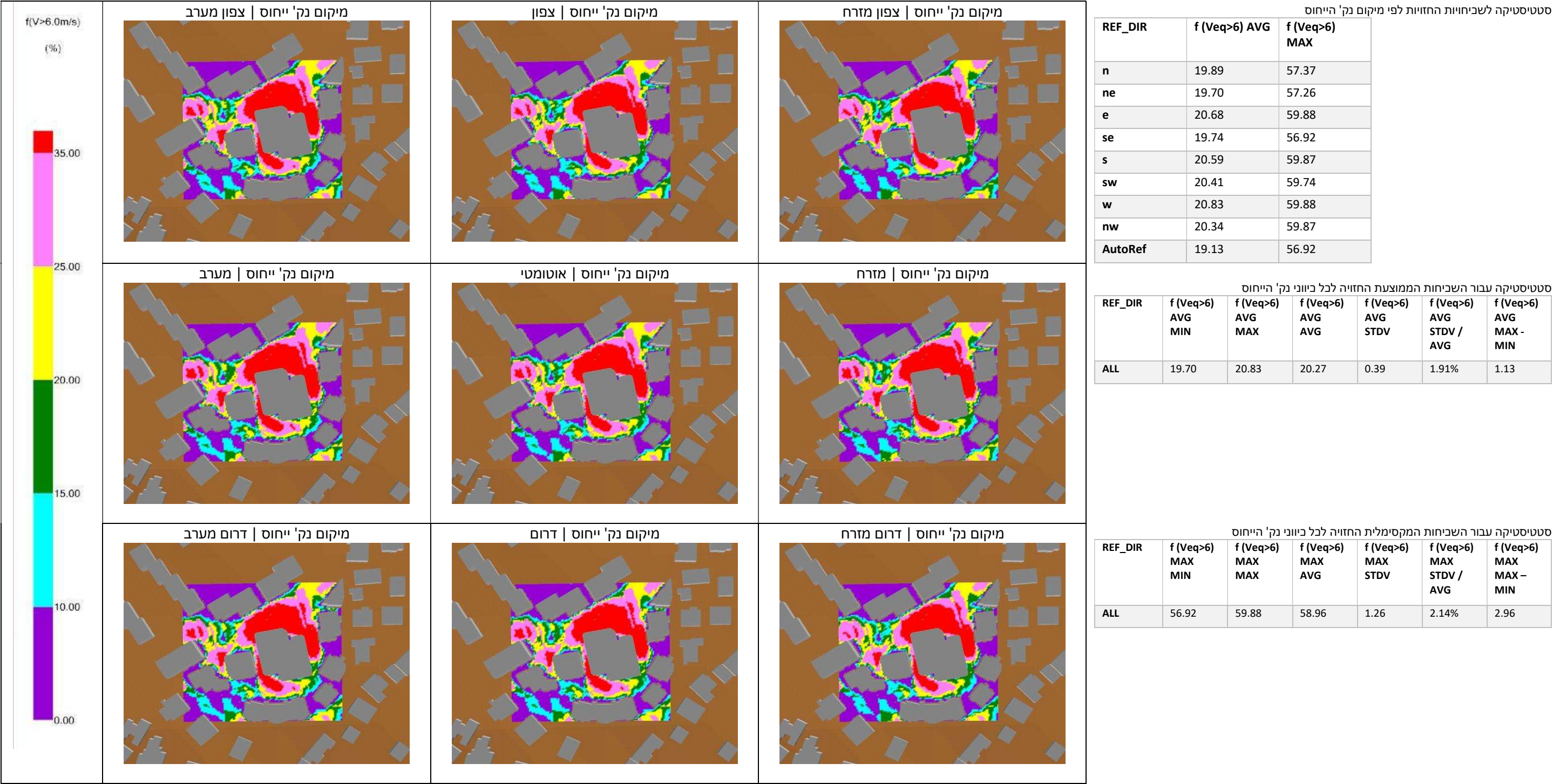
REF_DIR	f (Veq>6) AVG MIN	f (Veq>6) AVG MAX	f (Veq>6) AVG AVG	f (Veq>6) AVG STDV	f (Veq>6) AVG STDV / AVG	f (Veq>6) AVG MAX - MIN
ALL	15.28	16.34	15.78	0.34	2.18%	1.06

סטטיסטיקה עבור השכיחות המקסימלית החזויה לכל כיווני נק' הייחוס

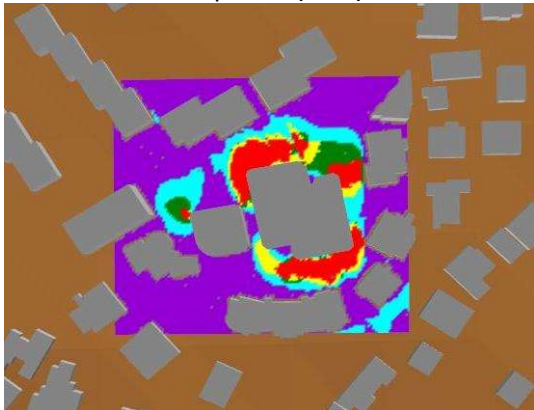
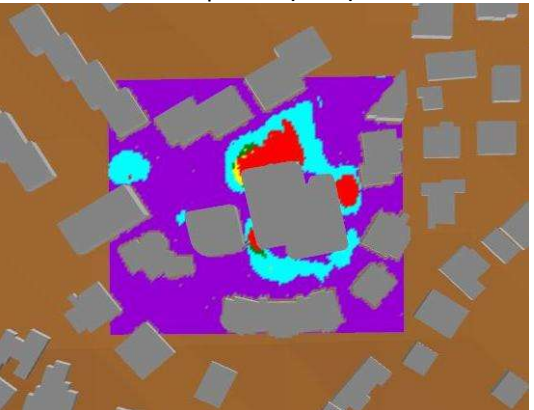
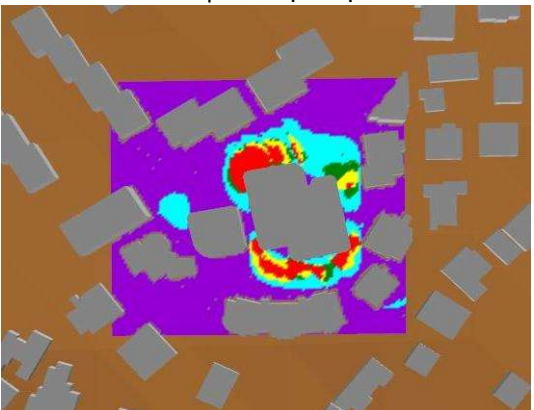
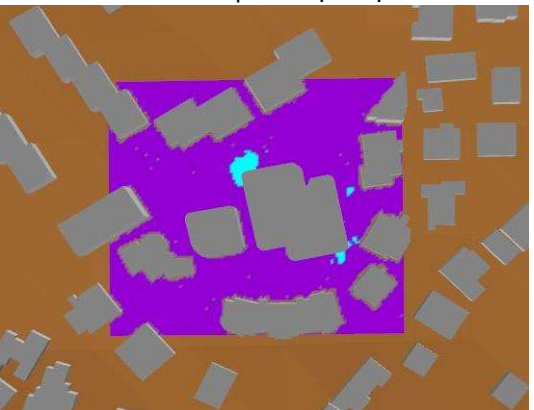
REF_DIR	f (Veq>6) MAX MIN	f (Veq>6) MAX MAX	f (Veq>6) MAX AVG	f (Veq>6) MAX STDV	f (Veq>6) MAX STDV / AVG	f (Veq>6) MAX MAX - MIN
ALL	46.28	51.21	50.05	1.36	2.72%	4.93

מידת העקביות של הממצאים גבוהה

ממצאי בדיקה לנקודות ייחוס בגובה 150 מ' | נתוני אטלס פוטנציאל אנרגיית הרוח | עבור שכיחויות לרוח שקולה במהירויות שמעל 6 מ' לשניה



מידת העקביות של הממצאים גבוהה

	מיקום נק' ייחוס צפון מערב	מיקום נק' ייחוס צפון	מיקום נק' ייחוס צפון מזרח
מיקום נק' ייחוס מערב			
מיקום נק' ייחוס דרום מערב			

REF_DIR	f (Veq>20) AVG	f (Veq>20) MAX
n	0.016	0.350
ne	0.022	0.719
e	0.026	0.738
se	0.001	0.043
s	0.039	1.209
sw	0.010	0.424
w	0.067	1.188
nw	0.003	0.093

סטטיסטיקה עבור השכיחות הממוצעת החזויה לכל ביוני נק' הייחוס						
REF_DIR	f (Veq>20) AVG MIN	f (Veq>20) AVG MAX	f (Veq>20) AVG AVG	f (Veq>20) AVG STDV	f (Veq>20) AVG STDV / AVG	f (Veq>20) AVG MAX - MIN
ALL	0.001	0.067	0.023	0.020	88.88%	0.07

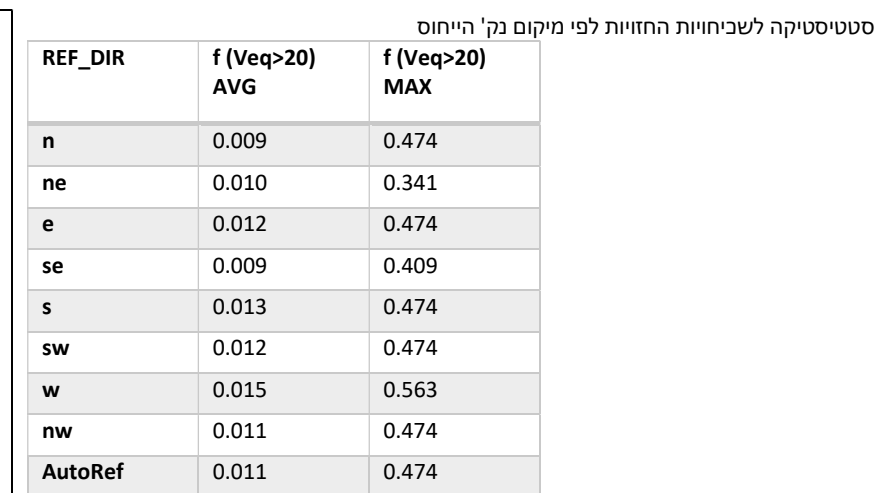
סטטיסטיקה עבור השביחות המקסימלית החזויה לכל ביוני בק' הניחוס						
REF_DIR	f (Veq>20) MAX MIN	f (Veq>20) MAX MAX	f (Veq>20) MAX AVG	f (Veq>20) MAX STDV	f (Veq>20) MAX STDV / AVG	f (Veq>20) MAX MAX – MIN
ALL	0.043	1.209	0.480	0.420	87.58%	1.17

מידת העקביות של הממצאים נמוכה

	מיקום נק' ייחוס צפון מערב	מיקום נק' ייחוס צפון	מיקום נק' ייחוס צפון מזרח
$f(V > 20.0 \text{ m/s})$ (%) 0.20 0.14 0.10 0.01 0.00			
	מיקום נק' ייחוס מערב	מיקום נק' ייחוס אוטומטי	מיקום נק' ייחוס מזרח
	מיקום נק' ייחוס דרום מערב	מיקום נק' ייחוס דרום	מיקום נק' ייחוס דרום מזרח

מידת העקביות של הממצאים גבוהה

מדינת ישראל	מדינת ישראל	מדינת ישראל	מדינת ישראל
מדינת ישראל	מדינת ישראל	מדינת ישראל	מדינת ישראל



סטטיסטיקה עבור השכיחות המקסימלית החזיה לכל כיווין נק' הייחוס						
REF_DIR	f (Veq>20) MAX MIN	f (Veq>20) MAX MAX	f (Veq>20) MAX AVG	f (Veq>20) MAX STDV	f (Veq>20) MAX STDV / AVG	f (Veq>20) MAX MAX – MIN
ALL	0.341	0.563	0.462	0.056	12.14%	0.22

בחינת רגישות להגדרת נקודת ייחוס במודל CFD | מקרה בוחן

סטטיסטיקה עבור שכיחויות למהירויות רוח שקולה, לפי מיקום נקודות הייחוס

DATA	REF_H	REF_DIR	f (Veq>6) AVG	f (Veq>6) MAX	f (Veq>9) AVG	f (Veq>9) MAX	f (Veq>15) AVG	f (Veq>15) MAX	f (Veq>20) AVG	f (Veq>20) MAX
GIV-RAM_10m_FIXED	10m	n	15.31	54.60	4.14	27.15	0.20	2.81	0.016	0.350
		ne	9.63	42.85	1.97	14.86	0.14	1.91	0.022	0.719
		e	18.42	54.90	5.94	33.76	0.40	6.57	0.026	0.738
		se	9.36	41.37	1.61	15.95	0.03	0.75	0.001	0.043
		s	17.15	52.86	5.01	31.92	0.36	5.30	0.039	1.209
		sw	11.23	45.63	2.49	17.70	0.13	2.90	0.010	0.424
		w	16.20	51.56	4.71	26.08	0.43	5.27	0.067	1.188
		nw	11.52	43.42	2.41	17.69	0.07	1.11	0.003	0.093
GIV-RAM_150m_FIXED	150m	n	15.45	50.16	3.50	22.87	0.16	2.33	0.012	0.412
		ne	15.28	50.16	3.43	22.35	0.16	2.32	0.012	0.348
		e	16.07	50.57	3.78	23.96	0.18	2.52	0.014	0.413
		se	15.30	46.28	3.44	22.35	0.16	2.32	0.012	0.345
		s	16.04	50.56	3.79	23.91	0.19	2.68	0.016	0.414
		sw	15.92	50.39	3.73	23.91	0.18	2.68	0.015	0.413
		w	16.34	51.21	3.94	24.03	0.21	2.68	0.019	0.514
		nw	15.84	50.56	3.68	23.89	0.17	2.52	0.013	0.414
		AR	15.79	50.56	3.66	23.91	0.18	2.37	0.014	0.413
WEIBULL_150m	150m	n	19.89	57.37	4.45	28.60	0.15	3.20	0.009	0.474
		ne	19.70	57.26	4.34	28.39	0.15	3.19	0.010	0.341
		e	20.68	59.88	4.87	29.87	0.19	3.53	0.012	0.474
		se	19.74	56.92	4.38	28.37	0.15	3.19	0.009	0.409
		s	20.59	59.87	4.82	29.52	0.19	3.46	0.013	0.474
		sw	20.41	59.74	4.74	29.52	0.19	3.46	0.012	0.474
		w	20.83	59.88	4.96	29.91	0.20	3.54	0.015	0.563
		nw	20.34	59.87	4.68	29.30	0.17	3.53	0.011	0.474
		AR	20.29	59.87	4.66	29.52	0.18	3.20	0.011	0.474

בחינת רגישות להגדרת נקודת ייחוס במודל CFD | מקרה בוחן

סטטיסטיקה עבור ערכי ממוצע של השכיחויות למהירויות רוח שקולה מעל 6 מ' לשניה, לפי גובה נק' ייחוס וסוג הנתונים

DATA	REF_H	REF_DIR	f (Veq>6) AVG MIN	f (Veq>6) AVG MAX	f (Veq>6) AVG AVG	f (Veq>6) AVG STDV	f (Veq>6) AVG STDV / AVG	f (Veq>6) AVG MAX - MIN
GIV-RAM_10m_FIXED	10m	ALL	9.36	18.42	13.60	3.34	24.54%	9.05
GIV-RAM_150m_FIXED	150m	ALL	15.28	16.34	15.78	0.34	2.18%	1.06
WEIBULL_150m	150m	ALL	19.70	20.83	20.27	0.39	1.91%	1.13

סטטיסטיקה עבור ערכי מקסימום של השכיחויות למהירויות רוח שקולה מעל 6 מ' לשניה, לפי גובה נק' ייחוס וסוג הנתונים

DATA	REF_H	REF_DIR	f (Veq>6) MAX MIN	f (Veq>6) MAX MAX	f (Veq>6) MAX AVG	f (Veq>6) MAX STDV	f (Veq>6) MAX STDV / AVG	f (Veq>6) MAX MAX - MIN
GIV-RAM_10m_FIXED	10m	ALL	41.37	54.90	48.40	5.28	10.92%	13.53
GIV-RAM_150m_FIXED	150m	ALL	46.28	51.21	50.05	1.36	2.72%	4.93
WEIBULL_150m	150m	ALL	56.92	59.88	58.96	1.26	2.14%	2.96

סטטיסטיקה עבור ערכי ממוצע של השכיחויות למהירויות רוח שקולה מעל 20 מ' לשניה, לפי גובה נק' ייחוס וסוג הנתונים

DATA	REF_H	REF_DIR	f (Veq>20) AVG MIN	f (Veq>20) AVG MAX	f (Veq>20) AVG AVG	f (Veq>20) AVG STDV	f (Veq>20) AVG STDV / AVG	f (Veq>20) AVG MAX - MIN
GIV-RAM_10m_FIXED	10m	ALL	0.001	0.067	0.023	0.020	88.88%	0.07
GIV-RAM_150m_FIXED	150m	ALL	0.012	0.019	0.014	0.002	15.08%	0.01
WEIBULL_150m	150m	ALL	0.009	0.015	0.011	0.002	15.65%	0.01

סטטיסטיקה עבור ערכי מקסימום של השכיחויות למהירויות רוח שקולה מעל 20 מ' לשניה, לפי גובה נק' ייחוס וסוג הנתונים

DATA	REF_H	REF_DIR	f (Veq>20) MAX MIN	f (Veq>20) MAX MAX	f (Veq>20) MAX AVG	f (Veq>20) MAX STDV	f (Veq>20) MAX STDV / AVG	f (Veq>20) MAX MAX - MIN
GIV-RAM_10m_FIXED	10m	ALL	0.043	1.209	0.485	0.420	86.61%	1.17
GIV-RAM_150m_FIXED	150m	ALL	0.345	0.514	0.410	0.046	11.23%	0.17
WEIBULL_150m	150m	ALL	0.341	0.563	0.462	0.056	12.14%	0.22

בחינת רגישות להגדרת נקודת ייחוס במודל CFD | מקרה בוחן

סטטיסטיקה עבור ערכי ממוצע של השכיחויות למהירויות רוח שקולה מעל 9 מ' לשניה, לפי גובה נק' ייחוס וסוג הנתונים

DATA	REF_H	REF_DIR	f (Veq>9) AVG MIN	f (Veq>9) AVG MAX	f (Veq>9) AVG AVG	f (Veq>9) AVG STDV	f (Veq>9) AVG STDV / AVG	f (Veq>9) AVG MAX - MIN
GIV-RAM_10m_FIXED	10m	ALL	1.61	5.94	3.54	1.51	42.68%	4.33
GIV-RAM_150m_FIXED	150m	ALL	3.43	3.94	3.66	0.16	4.49%	0.52
WEIBULL_150m	150m	ALL	4.34	4.96	4.65	0.21	4.46%	0.62

סטטיסטיקה עבור ערכי מקסימום של השכיחויות למהירויות רוח שקולה מעל 9 מ' לשניה, לפי גובה נק' ייחוס וסוג הנתונים

DATA	REF_H	REF_DIR	f (Veq>9) MAX MIN	f (Veq>9) MAX MAX	f (Veq>9) MAX AVG	f (Veq>9) MAX STDV	f (Veq>9) MAX STDV / AVG	f (Veq>9) MAX MAX - MIN
GIV-RAM_10m_FIXED	10m	ALL	14.86	33.76	23.14	7.02	30.33%	18.90
GIV-RAM_150m_FIXED	150m	ALL	22.35	24.03	23.46	0.68	2.91%	1.68
WEIBULL_150m	150m	ALL	28.37	29.91	29.22	0.58	1.97%	1.54

סטטיסטיקה עבור ערכי ממוצע של השכיחויות למהירויות רוח שקולה מעל 15 מ' לשניה, לפי גובה נק' ייחוס וסוג הנתונים

DATA	REF_H	REF_DIR	f (Veq>15) AVG MIN	f (Veq>15) AVG MAX	f (Veq>15) AVG AVG	f (Veq>15) AVG STDV	f (Veq>15) AVG STDV / AVG	f (Veq>15) AVG MAX - MIN
GIV-RAM_10m_FIXED	10m	ALL	0.03	0.43	0.22	0.15	66.04%	0.40
GIV-RAM_150m_FIXED	150m	ALL	0.16	0.21	0.18	0.02	9.31%	0.05
WEIBULL_150m	150m	ALL	0.15	0.20	0.17	0.02	10.77%	0.06

סטטיסטיקה עבור ערכי מקסימום של השכיחויות למהירויות רוח שקולה מעל 15 מ' לשניה, לפי גובה נק' ייחוס וסוג הנתונים

DATA	REF_H	REF_DIR	f (Veq>15) MAX MIN	f (Veq>15) MAX MAX	f (Veq>15) MAX AVG	f (Veq>15) MAX STDV	f (Veq>15) MAX STDV / AVG	f (Veq>15) MAX MAX - MIN
GIV-RAM_10m_FIXED	10m	ALL	0.75	6.57	2.90	2.00	69.07%	5.81
GIV-RAM_150m_FIXED	150m	ALL	2.32	2.68	2.49	0.15	6.01%	0.35
WEIBULL_150m	150m	ALL	3.19	3.54	3.37	0.16	4.64%	0.34