**למה קראת אפס?**

**מדידות מפלס פני הים בארץ ישראל מימי המנדט הבריטי ועד היום ביחס לנקודת האפס ברשתות הגבהים האורתומטריות הארציות [[1]](#footnote-1)**

# מבוא:

מחקר זה מתחקה אחר נקודות האפס של רשתות הגבהים האורתומטריות הארציות, שנקבעו על ידי מחלקת המדידות של ממשלת המנדט הבריטי בארץ ישראל לאורך חוף הים התיכון הישראלי. כל זאת מתוך מטרה לשחזר את מדידות ממוצע מפלס פני הים לפיהן נקבעו הגבהים של נקודות אלו. **חשיבות מחקר מפלסי הים, בין השאר, נובעת מכך שמפלס זה הוא תוצר של שינויים אקלימיים אזוריים, ולכן שינוי במפלס פני הים עשוי להיות אינדיקטור לשינויים אקלימיים (woodworth et al., 2009).** מפלס פני הים **נמדד ביחס ליבשה אשר לצדו. לכן, מדידת גובה מפלס פני הים עשויה להשתנות בעקבות שינויים בקרקע הסמוכה לים או בעקבות שינויים בנפח מי הים (Lambeck and Purcell, 2005). מחקרים קודמים מצאו שהיבשה הסמוכה לים התיכון בישראל, באופן יחסי, יציבה מבחינה טקטונית אנכית לפחות ב- 22,000 השנים האחרונות (Gvirtzman et al., 2008; schattner et al., 2010), לכן שינויי מפלס פני הים שנמדדים בחופי אגן הלבנט, בישראל, לאורך טווח שנים ארוך, יכולים להצביע על שינויים בנפח מים באגן הלבנט (Toker et al., 2012). שינויי נפח של מי הים עשויים לנבוע משינויים בכמות משקעים, בתפוקת הנחלים, ובשינויי טמפרטורה של מי הים. שינויים אלו נובעים משינויים אקלימיים, לכן, מעקב אחרי שינויי מפלס פני הים בחוף הישראלי, מהווים בסיס לחקר שינויי אקלים מקומיים, אזוריים ועולמיים, ובהקשר זה, רמת הדיוק של המדידות ההיסטוריות לקביעת ה- 0 האורטומטרי הינה קריטית (woodworth et al., 2009).**

**הרישום ההיסטורי של מפלסי הים הרציפים ארוכי הטווח נחקר לראשונה על ידי גלבוע וגולדשמיט ממכון חקר ימים ואגמים שהגדירו לראשונה את ההתנהגות היומית, החודשית והשנתית של שינויי המפלס בחוף הים התיכון הישראלי (Goldsmith and Gilboa, 1986). מחקרו של בוריס שירמן** (Boris Shirman) **ממחלקת המחקר במפ"י מצא את ההתנהגות הרב שנתית של שינויי מפלס פני הים (Shirman, 2004). שני המחקרים מבוססים על המדידות הרציפות בארץ שהחלו במחצית השנייה של שנות ה 50 במאה הקודמת (1956, 1958 בהתאמה). מחקרים נוספים עסקו בהשתנות מפלסי הים בארץ ואף השוו אותו עם נתוני שינוי מפלס הים האזוריים והעולמיים, על בסיס נתונים דיגיטאליים שהחלו להיאסף משנת 1996 לאורך חופי מדינת ישראל על ידי חקר ימים ואגמים ועל ידי מרכז למיפוי ישראל (Klein et al., 2004; Klein and Lichter, 2009; Benstock et al., 2015; Rosen, 2004).** מחקרים אלה, בארץ, שבחנו את שינויי מפלס פני הים מאז תחילת המדידות, לא התייחסו לקביעת האפס של רשת הגבהים היבשתית, ולכרונולוגיה של קביעה זו מאז ראשיתה ועד היום **לאורך החוף הדרום מזרחי של הים התיכון בין ראש הנקרה לרפיח.**

**מדידות מפלס ים נעשו לראשונה באזור זה בתקופת המנדט הבריטי, כחלק ממדידת רשתות הגבהים האורתומטריות הארצית אותן פרשו הבריטים בשנות ה-20 ובשנות ה-30 של המאה הקודמת. רשתות אלו נפרשו בשתי שיטות שונות: 1) בשנות ה- 20 נפרשה רשת של טריאנגולציה בין באר שבע לגליל, באמצעות מדידות שהתבססו על מכשיר שנקרא תיאודוליט. מכשיר זה מדד את הזוויות בין נקודת גובה אחת לשנייה וחישוב הגבהים נעשה בשיטה טריגונומטרית. דיוק המדידה מוערך בסנטימטרים על פני קילומטרים בודדים, ומעל מטר במדידות הארציות. 2) בשנות ה- 30 של המאה הקודמת נפרשה רשת של לולאות איזון מדויק בין באר שבע לרמת הגולן. מדידות אלו התבססו על מכשיר שנקרא מאזנת, בו חישוב הגבהים נעשה בשיטה גיאומטרית, ובנוסף, בשיטה זו ניתן לבדוק את רמת הדיוק של המדידות לכדי מילימטרים בודדים על פני מרחקים של קילומטרים ((Gavish, 2005.**

ממוצע מפלס פני הים נמדד ביחס לנקודה יבשתית יציבה הסמוכה לו. בתהליך המדידה מתבצעת מדידת גובה ממוצע של נקודה יבשתית מגובהם המשתנה של פני המים. חישוב ממוצע גובה הנקודה היבשתית מפני המים מגלה למעשה את ממוצע מפלס פני הים. הנקודה החופית שממוצע הגובה שלה נקבע ביחס למפלס פני הים המשתנה, היא למעשה נקודת הייחוס היבשתית למד הגאות שלצידה ולכן היא נקראת Tide Gauge Benchmark (TGBM). אל נקודה זו מחברים את רשת נקודות הגובה היבשתית הארצית ועל ידי כך מעגנים את נקודות הגובה היבשתיות אל מפלס פני הים. למרות שגובה נקודת החיבור בין מד הגאות לרשת הגבהים הארצית אינו אפס, היא האפס של רשת הגבהים היבשתית, כלומר נקודת המוצא של רשת הגבהים האורתומטרית. נקודה זו היא למעשה העוגן לרשת הגבהים הארצית, ונקראת גם נקודת הדאטום היבשתי או האפס של רשת הגבהים האורתומטרית הארצית (Shirman, 2001).

המדידה הראשונה לקביעת ממוצע מפלס פני הים הייתה בעזה, ולפיה נקבע האפס היחסי של המפות בתקופת המנדט הבריטי. ואכן, במפות המנדט מצוין כי הגבהים נקבעו לפי האפס של עזה (Gavish, 2005; Horovitz, 2012). אך עד למחקר זה נתוני המדידות ושיטת המדידות ואימות המדידות ביחס למדידות אחרות במרחב לא פורסמו.

המחקר שלהלן שם לו למטרה להתחקות אחר נקודות האפס של הרשתות האורתומטריות הארציות שנמדדו ונקבעו על ידי מחלקת המדידות של ממשלת המנדט הבריטי בארץ ישראל: פעם אחת בשנת 1922 ובפעם השנייה בשנת 1934 ומתוך כך, לשחזר את ממוצע מפלס פני הים לפיו נקבעו הגבהים. לשם כך יבקש המחקר לבדוק את נקודות האפס של רשת הטריאנגולציה משנת 1922 בעזה ושל רשת האיזון המדויק משנת 1934 אשר נקבעו בארץ ישראל. וכמו כן להשוות את נקודות האפס ההיסטוריות, מעזה בשנת 1922 ומחיפה בשנת 1934, לאפס של הרשת האורתומטרית הארצית כיום. כל זאת מתוך ההבנה כי נקודות האפס היבשתיות מתייחסות אל ממוצע מפלס ים שנמדד סמוך להן בזמן ובמרחב, ולכן האפס אליו הן מתייחסות הוא למעשה מפלס פני הים שנמדד בתקופתן. מכך עולה כי על ידי השוואה בין גובה הנקודות היבשתיות ההיסטוריות (שהתייחס, כאמור, לממוצע מפלס פני הים ההיסטורי), לבין גובהן העכשווי, (המתייחס לממוצע מפלס פני הים היום), יבחן גובה ממוצע מפלס פני הים ההיסטורי בשנת 1921 ובשנת 1934, בחוף הים התיכון הישראלי ואת השתנותו בשנים אלו. המחקר מתמקד במטרות משני תחומים: 1) בתחום ההיסטורי: לחשוף את נקודות האפס של רשתות הגובה האורתומטריות הארציות מתקופת המנדט הבריטי ועד היום. 2) בתחום הסביבתי: לשחזר את ממוצע מפלס פני הים בשנים בהן מדדו את רשתות הגובה הארציות ביחס לים.

כדי למדוד מחדש את נקודות הגובה ההיסטוריות המחקר בחן את השאלות הבאות:

היכן, וכיצד נקבע ממוצע מפלס פני הים בעזה בשנת 1921-1922? מה הייתה מידת הדיוק של מדידתו, וכיצד נמדדה רשת הגבהים הארצית ביחס אליו? מה היו נקודות האפס המאוחרות שנמדדו במשך תקופת המנדט הבריטי, כיצד והיכן נמדדו בשנות ה30 של המאה ה20?

בנוסף, נבדקה מדידת רשת הגבהים הארצית העכשווית ביחס לדאטום הבריטי, ונחקרה הרלוונטיות של נקודות האפס ההיסטוריות ושל ממוצע מפלס פני הים ההיסטורי ביחס למדידות העכשוויות של מדינת ישראל.

# רקע היסטורי למחקר גבהים יבשתיים בארץ ישראל

המיפוי של ארץ הקודש החל בראשיתו כקרטוגרפיה דתית אשר שרטטה נתיבים בין מקומות שזוהו בכתבי הקודש. הפעם הראשונה בה ניתנה הדעת לגבהים ותבליט בקרטוגרפיה של הארץ הייתה בעת מיפוי שנעשה תחת פיקוחו של קולונל פייר ז'אקוטן (Pierre Jacotin), מפקד יחידת המהנדסים הגיאוגרפים שהיו אחראים על הסקר הגיאוגרפי ושרטוט המפות של עמק הנילוס, לוב. בשנת 1799, בעת כיבושי נפוליון במצריים ובדרום סוריה (ארץ ישראל), מופתה גם ארץ ישראל. הכיבוש והנסיגה של הצבא הצרפתי מהארץ היו מהירים, רוב המדידות נעשו על ידי חיילים מתחום הארטילריה ולא על ידי סוקרים מיומנים, אך עם זאת המפות התבססו על מדידות שטח ושירטטו באופן מדויק יחסית את מישור החוף והגליל (Goren, 2002). מפות ז'אקוטן, היו הראשונות שהתבססו על טריאנגולציה גסה, שנקודת המוצא שלהן הייתה הפירמידה הגדולה בגיזה (Gavish, 2005).

באמצע המאה ה-19 נעשה בארץ מיפוי על ידי יחידת המהנדסים המלכותיים ועל ידי האדמירלות הבריטית, בעיקר לאורך חוף הים התיכון, כחלק מעזרה אירופאית לשלטון העות'מני בכיבוש מחודש של הארץ מידי הכוחות המצריים של מוחמד עלי ובנו, איברהים פשה. עזרה זו כללה סקרים גיאוגרפיים לשם סיוע לכוחות הארטילריה והתותחנים במטרותיהם, ותוך כדי כך חידדו ושיפרו את שיטות מדידת הגובה במפות הארץ (Gavish, 2005).

בסוף שנות ה-30 של המאה ה -19 עמד גובה פני ים המלח במוקד ההתעניינות בחקירות הגבהים של הארץ (Goren, 2002). עקב כך הושם דגש על מדידת הגבהים בארץ והדיוק של שיטות המדידה השתפר. בשנת 1841, בנוסף לקרטוגרפיה הצבאית בקו החוף של הארץ, מדדה משלחת של חיל המהנדסים המלכותי, בראשות לוטננט ג'ון פרידריך אנטוני סימונדס (John Frederick Anthony Symonds) רשת טריאנגולציה אחת בין עכו לכינרת, דרך צפת; ורשת שנייה מיפו לים המלח דרך ירושלים בניסיון למצוא את גובהם של ים המלח ושל הכינרת ביחס לים התיכון. רמת הדיוק של מדידת גובה טריגונומטרית מספקת לשם שרטוט מפות, אך היא תלויה בקווי יסוד ישרים ומפולסים. על מדידת גובה ים המלח קיבל סימונדס מדליה בשנת 1842, אולם הוא ספג ביקורת לגבי הגבהים שהתקבלו במדידותיו בכינרת, ועקב כך עלו ספקות לגבי דיוק מדידותיו (Goren, 2011).

סקר נוסף שנעשה על ידי האדמירלות הבריטית וכלל את חופי דרום סוריה וארץ ישראל בשנים 1861-1864 בפיקודו של קומנדר ארתור ל. מנסל (Arthur L. Mansell). בעקבות הסקר פורסמו מפות עגינה במעגנים לאורך החוף הישראלי (Goren, 2011). במפות סומנו עומקי המים ביחס לנקודות 0 שנקבעו בכל חוף, אולם היה זה אפס מקומי שנקבע בנפרד לכל חוף.

רשת מקומית של נקודות גובה באיזון מדוייק (Levelling) , נמדדה, לראשונה בארץ, בירושלים כבסיס לעבודות תשתית הידרולוגיות בשנת 1865 על ידי קפטן צ'ארלס וו. וילסון (Charles W. Wilson) (Gavish, 2005). בהמשך נמדדו הגבהים באיזון מדוייק מירושלים לכיוון ים המלח ולכיוון יפו (Wilson, 1886). תיעוד המדידה של וילסון נחשב למדוייק והיה בסיס למדידות מאוחרות יותר (Conder and Kitchener, 1881).

הקרן האנגלית לחקר ארץ ישראל (The Palestine Exploration Found PEF), ריכזה מאמצים כלכליים ואנושיים במחקר ארכיאולוגי וגיאוגרפי של ארץ הקודש (בין דן לבאר שבע). בשנת 1881, לצד ספרי המחקר שהניבו מחקרי הקרן, פורסמו גם עשרים וששה גיליונות של מפות, להן נעשתה מדידה של רשת טריאנגולציה אשר נפרשה על פני הארץ מדן ועד באר שבע. בשל הדיוק שלהן היוו המפות הללו בסיס למיפוי הארץ לכל חוקרי הארץ ומשרדי המלחמה של הצבאות השונים באזור עד מלחמת העולם הראשונה (גביש, 2005).

על מנת להעלות את רמת הדיוק של מפות ה-PEF נמדדו גבהי נקודות הטריאנגולציה שלהן במספר שיטות: 1) איזון מדוייק: הסתמכות על מדידות קודמות שיצאו מהים התיכון אל פנים הארץ, כדוגמת ווילסון ב-1865, שערך את מדידותיו בין הים התיכון לים המלח. נקודות גובה (Benchmark-BM) היסטוריות שקדמו למדידות הPEF ונחשבו למדויקות בעיני קונדר וקיטשנר (Conder and Kitchener)), נקודות אלו נבדקו פעם נוספת על ידי ברומטר. 2) מדידות טריגונומטריות (טריאנגולציה): לאחר אישור ה BM ההיסטוריים, נמדדו מחדש נקודות הטריאנגולציה ביחס אליהם על ידי מכשיר התיאודוליט, ברמת דיוק של 5 ס"מ. ליד הים נמדד הגובה ישירות מפני המים. 3) מדידה של ברומטר כספית: גובה המחנה הנייד בו התמקמו צוותי המדידות בקרבת נקודות הטריאנגולציה, שימש גם הוא נקודת ייחוס למדידת גבהי נקודות הטריאנגולציה, והוא נמדד כל יום על ידי ברומטר של כספית, 4) מדידה של ברומטר אנרואיד (Enaroid): מכשיר למדידת לחצים המבוסס על גז ולא על נוזל, בו השתמשו למדידת נקודות טריג בולטות בשטח (Conder and Kitchener, 1881). מאוזכרת באופן מיוחד נקודת הגובה שנקבעה בקיסריה במדידה ישירה מהים, אולם בשטח לא מצאנו סימונים לנקודת גובה של רשת הטריאנגולציה של ה- PEF (Conder and Kitchener, 1881).

במהלך מלחמת העולם הראשונה בשנת 1916 נכנסו צילומי האוויר לתחום מיפוי הארץ. נעשה ניסיון להבליט את תוואי השטח והפרשי הגובה שנצפו בבחינה סטריאוסקופית של התצלומים, בעזרת קווי צורה בשולי הערים באזורי ההר של הארץ, אך מדידות גובה חדשות לא נעשו בשטח (Gavish and Biger, 1981). באפריל 1920, עם תחילת המנדט הבריטי בארץ, הוקמה בארץ מחלקת מדידות ממשלתית, שמטרתה הראשונית הייתה יצירת סקר קדסטרי, שיוביל למיפוי עדכני של הארץ לשם מיסוי קרקעות מדויק (Ley, 1921).

מכל האמור לעיל, מתברר כי מדידות מפלס הים, קביעת נקודת האפס, אשר ביחס אליה נמדדו הגבהים, נעשתה על ידי תצפיות נקודתיות מקריות עד סוף מלחמת העולם הראשונה. רק בימי המנדט הבריטי (1921-1948) החלו לבצע מדידות רציפות גובה הים ביחס ליבשה, ומהן חושב ממוצע הים החודשי/שנתי, ששמש לקביעת מפלס הים לשם קביעת נקודת התייחסות לגבהים ביבשה. ממוצעי מפלס הים היו היסוד לרשתות הגבהים האורתומטריות בשלטון המנדט הבריטי בארץ ישראל, ועל סמך מדידות אלו נקבעו הגבהים במפות הבריטיות בין השנים 1921-1948.

# שיטת המחקר:

המחקר מתבסס על חומרים מגוונים של חומרי מקור: 1) חוברות סיכום שנתיות. 2) מסמכים ודו"חות. 3) התכתבויות ו-4) מפות; שמצויים בתיקי הארכיונים של המרכז למיפוי ישראל (מפ"י). כמו כן נערכה מדידה חוזרת של נקודות גובה בשטח באמצעות מדידה לוויינית עם מכשיר RTK-GPS בשטחים פתוחים ליד עזה, ומדידות של נקודות גובה בשטח עירוני באמצעות איזון מדויק (levelling) בחיפה וביפו.

שלבי המחקר:

השלב הראשון במחקר התמקד בבדיקת מדידות ממוצע מפלס פני הים שנעשו בעזה בשנת 1921-1922, לקביעת נקודת האפס והחיבור שלה אל רשת הטריאנגולציה הארצית. השלב השני דן באופן קביעת נקודת האפס של רשת לולאות האיזון שנמדדה בארץ החל משנת 1934 במדידות ממוצע מפלס פני הים שנעשו בחיפה וביפו בין 1928 ל- 1930. השלב השלישי, מקשר בין המדידות ההיסטוריות לבין נקודת האפס של רשת האיזון המדויק של מדינת ישראל היום. לסיום, המחקר משווה בין גובה הנקודות היבשתיות ההיסטוריות לבין מדידותיהן היום, במטרה לבחון את השינויים בגובה ממוצע מפלסי הים ההיסטוריים לעכשוויים (איור 1).

\*איור 1:

# שיחזור של נקודת האפס לרשת הטריאנגולציה הארצית, 1922:

בשלב מקדים למיפוי קדסטרי שעשו הבריטים בארץ, נעשתה פרישה של רשת טריאנגולציה. בכדי לעגן את רשת הגבהים היבשתית לים, נעשתה מדידה של ממוצע מפלס ים בעזה. הבחירה בעזה למדידת מפלסי הים היתה מכיוון שרשת טריאנגולציה צבאית נמדדה במהלך מלחמת העולם הראשונה בדרום הארץ, לכן מחלקת המדידות של ממשלת המנדט הבריטי החליטה להתחיל את המיפוי מהדרום אל הצפון ולהסתמך על הטריאנגולציה הצבאית הקיימת (Ley, 1921). קו היסוד הדרומי למדידת רשת הטריאנגולציה נקבע באימרה (Imera), הנמצא כיום ליד קיבוץ אורים, וחוף הים של עזה היה הקרוב ביותר לקו היסוד שנמדד. המשימה הראשונה של מודדי רשת הגבהים של הארץ הייתה לחבר את נקודת הטריאנגולציה הראשונה, M1, לגובה הממוצע של מפלס פני הים, וכך לחבר את האפס הארצי לרשת הטריאנגולציה (Ley, 1922)

## שיטת מדידת ממוצע מפלס פני הים בעזה והתקנת נקודת הגובה P1:

במרכז המפרץ בעזה, על גבי עמוד בטון בתוך המים, שרטטו שנתות, ומולו על החוף הציבו מאזנת. כך בין ה-14 בדצמבר 1921 ל- 8 בינואר 1922, נמדד גובה העמוד ביחס למפלס פני הים המשתנה דרך המאזנת. כלומר, השתנות גובה העמוד לאורך היום התרחשה בעקבות עליה וירידה של מפלס פני הים, והצביעה על שינוי גובה פני הים. את המדידות ביצעו לאורך היום, בחמש שעות שונות (לערכי מינימום ומקסימום של הגלים), ועל כל מדידה ערכו 5 חזרות. על בסיס מדידות אלו חישבו את הממוצע היומי, ולאחר מכן, מכל ימי המדידה, חישבו את הממוצע של גובה העמוד ביחס לפני הים המשתנים. בדרך זו נמדד למעשה ממוצע מפלס פני הים בעזה, וגובה עמוד הבטון מעל לממוצע מפלס פני הים היה: 1.4230 מטר (איור 2) (Vilensky, 1922) .

\*איור 2

עמוד הבטון שנמצא בים (off shore) הוא נקודת הייחוס של גובה הים: TGBM. עתה נדרש היה לקבוע נקודה חופית, ולמדוד את הגובה שלה ביחס לממוצע הים, כלומר, לקבוע את נקודת האפס לרשת הגבהים האורתומטרית ביבשה. המאזנת עמדה על היבשה בסמוך לים בגובה 1.3105 מטר ביחס לממוצע מפלס פני הים שנמדד. בקו ישר הנמשך מעמוד הבטון והמאזנת, על החוף, הציבו עמוד נוסף. בסיס עמוד זה הוא נקודת הגובה היבשתית, הדאטום אליו חיברו את רשת הטריאנגולציה הארצית. כלומר זהו האפס של עזה, והגובה שלו נמדד ביחס לממוצע מפלס פני הים (איור 2). בתחתית העמוד צוינה הנקודה הראשונה: Point 1, לפיכך נקודה זו נקראה: 1P. מדידת ממוצע מפלס פני הים הזו נערכה פעמיים, לראשונה בין דצמבר 1921- ינואר 1922, ובפעם השנייה בין אפריל –מאי 1922. המדידות המאוחרות נפסלו על ידי מחלקת המדידות הבריטית.

באיור 2 ניתן לראות כי על העמוד סומנה נקודת גובה המאזנת, וממנה נמדד כלפי מטה גובה הקרקע 0.8683 מטר (כולל תיקון אופטי של 0.049 מטר). כך נמדד האפס של עזה (P1):

גובה

ה-BM

**=**

תיקון אופטי

-

-

גובה המאזנת על החוף ביחס לממוצע מפלס פני הים

גובה המאזנת על העמוד היבשתי ביחס לקרקע

**=**

-

-

0.3932 m

0.049 m

0.8683 m

1.3105 m

מדידת מפלס פני הים מתוארת בחוברת הסיכום השנתי של אגף המדידות משנת 1922:

’A rough MSL was determined at GAZA in December by small leveling party and levelling between the shore mark and one of Imera Base Terminals is in progress’ (Lay, 1922)

המילה: 'rough' המיוחסת למדידת ממוצע מפלס פני הים בעזה מעוררת עניין. האם העריכו את המדידה כגסה, או אולי לא מספיק מדויקת, ומצד שני יתכן שחיווי הדעה על המדידה מתייחס להיותה גולמית, ראשונית. מכיוון והמדידה נעשתה בעזה למשך פחות מחודש, ומדידות מעין אלו נדרשות לטווח זמן ארוך, נראה שהכוונה היתה כאן כי המדידה היא גסה, לא מאוד מדויקת. אמנם המדידה כוללת את השתנות מפלס פני הים עקב גאות ושפל במחזור היומי והחודשי, אך היא אינה מציגה את המחזור השנתי של מפלס פני הים שנובע משינויי טמפרטורת המים בחוף הישראלי (Lay, 1922).

## איתור נקודות הגובה ההיסטוריות בין עזה לאימרה בשטח ומדידתן מחדש:

המדידות הבריטיות מנקודת הגובה P1 לנקודת M1 נעשו על ידי איזון מדויק (levelling) באופן קווי דרך תשע נקודות ביניים שנקבעו לאורך הדרך. המעבר מנקודה אחת לשנייה תואר בשרטוטים בפנקסי המודדים. כל מהלך שורטט ונרשם בשטח על ידי שני מודדים וחושב לאחר מכן פעמיים במשרד, להבטחת דיוק החישוב.

עבור דיוק המדידה נרכשה מאזנת מחברת ווטס ובניו (Watts & Sons) באורך 80 ס"מ (Meshulam and Horovitz, 2009) (איור 3). רמת הדיוק שלה הגיעה למיקרומטרים, אולם כוח ההגדלה של המכשירים לא היה מספק לרמת הדיוק שנדרשה לעבודה:

‘The 8 inch and 5 inch Micrometer Instruments received from Messrs. Watss & Sons have proved good accurate instruments, but the telescopic power is beardly sufficient for the work’(Lay, 1922).

\*איור 3

תוואי השטח בין עזה לאימרה עבר ברובו בשטח מדברי, חולי, אשר לא ניתן היה לסמן בו את הגבהים על אבנים וקירות בדרך, לכן השתמשו בצינורות ובעמודי ברזל שקובעו למקומם בקרקע בעזרת בטון, כפי שבדרך כלל נהוג לעשות לנקודות גובה (Lay, 1922). על פי השרטוטים מפנקסי המודדים הבריטים שוחזר מסלול האיזון המדויק (levelling) שבין עזה לאימרה. איור 4 מציג את שיחזר התוואי כפי שנעשה במאמר זה.

\*איור 4

שיחזור נקודות קו האיזון שורטט על מפה של עזה משנת 1934, והותאם לנקודות היסטוריות ולמפה עכשווית (איור 5). רוב הנקודות מצויות היום בשטח רצועת עזה, לכן המחקר התמקד בניסיון למצוא את הנקודות הקרובות לקו אימרה ולנקודה M1, הממוקמים ליד קיבוץ אורים בישראל (איור 5). מתוך שלוש הנקודות הבאות: I54, I55 ו I24 מצאנו את I55

\*איור 5

בנקודה זו נמצא צינור מתכת קבור באדמה, ראשו מבוטן בבטון ישן ומתפורר, וסימני הבורג שהיה מוחדר בו עדיין ניכרים (איור 6). מדידת ראש העמוד בעזרת RTK-GPS ביולי 2015, הראתה גובה קרוב למדידה הבריטית, אך נמוך ב 1.6 ס"מ, רמת הדיוק של המכשיר באזור בו נעשו המדידות היא 5± ס"מ. מכך עולה כי הפער בין האפס של עזה לאפס שנקבע למדינת ישראל קטן ביותר. ממוצע מפלס פני הים שלפיו נקבע האפס הבריטי בעזה בשנת 1922, וזה שלפיו נקבע האפס של מדינת ישראל היום מאוד דומים, מפלס פני הים בעזה היה לפי נתונים אלו גבוה מהמפלס לפיו נמדד האפס האורתומטרי של המדינה היום ב 1.6 ס"מ.

\*איור 6

למרות שמדידת הגבהים ומדידת ממוצע מפלס פני הים הוגדרו כגסות, הפכה מחלקת המדידות הבריטית את האפס של עזה לבסיס מיפוי הגובה של כל המפות. ואכן, המפות הטופוגרפיות והעירוניות שיצאו לאור בתקופת המנדט הבריטי (1921-1948) מציינות את האפס של עזה כבסיס למדידת הגבהים בהן. יתכן כי למרות שמדידות ממוצע מפלס פני הים בעזה נחשבו גסות ולא מדויקות, הן הפכו לאפס אליו יוחסו הגבהים בכל המפות הבריטיות היות והגבהים במפות הבריטיות התבססו על הסקר הטריגונומטרי (רשת הטריאנגולציה), והמיפוי הטריגונומטרי כולו התבסס על המדידות של עזה (שיחה בע"פ עם ד"ר שטיינברג, המדען הראשי של מפ"י 2003-2009).

# נקודת האפס לרשת האיזון המדויק הארצית, 1934:

מדידות מפלס פני הים ארוכות טווח ביפו ובחיפה נעשו במקור כבסיס לתשתית הנמלים שהבריטים תכננו בערים אלו, אולם בשנת 1934 נעשה שימוש בממוצע מפלס פני הים שנמדד לתשתית הנמלים, כבסיס להקמת רשת האיזון מדויק ארצית.

## מדידות ממוצע מפלס פני הים בנמל יפו ונמל בחיפה 1929-1930:

מדידת מפלס פני הים הייתה נהוגה בנמלים אך מדידות אלו לא היו רציפות וארוכות טווח ולא תועדו כהלכה (Hervey, 1927). בדצמבר שנת 1927 הותקן מכשיר מדידה אנלוגי בנמל יפו התורכי, טרם בניית הנמל הבריטי (איור 7).

\*איור7

הכיול של המכשיר האנלוגי ביפו, נעשה ביחס למכשיר שקדם לו (Fousvig, 1929). המכשירים עבדו בנמל במקביל בראשית שנת 1928 ומדידותיהם נרשמו על דף אחד במרוכז בחודשים ינואר ופברואר. לאחר מכן המשיך המכשיר האנלוגי לרשום את מדידותיו לאורך השנים 1928-1929 (איור 8 ) (Drin, 1929) .

\*איור 8

בשנת 1928, הותקנו ביפו ובחיפה מדי גאות בקריאה ישירה שנקראו מדימרמטר (Medimaremeter). בשני הנמלים הקריאה נעשתה על ידי אדם פעמיים ביום בשעה 7:30 בבוקר ובשעה 1:30 בצהריים (Lay, 1929) . בכדי למנוע רעשי רקע במדידת מפלס פני הים, הושקע מאמץ רב בקיבוע המכשיר, על מנת למנוע תזוזה שתייצר חוסר דיוק במדידות, בכדי לסנן השפעה של גלי רוח על המדידה קצהו התחתון של המכשיר היה פתוח תמיד לכניסת מי הים, בתחתית העמוד ערמו גל אבנים לייצוב ולסינון נוסף (איור 9(Jhuiler, 1928) .

\*איור 9

הגרפים של ממוצע מפלס פני הים בחיפה וביפו (איור 10) (Lay, 1930) מציגים ממוצע מפלס ים הגבוה מהאפס בכחצי מטר (0.47 מטר) מהאפס אליו הם מתייחסים, כנראה האפס של עזה. מתוך נתונים אלו עולה השאלה האם מדידות מפלס פני הים בחיפה וביפו מעידות על עליית מפלס קיצונית של חצי מטר בשנים 1929-30 ביחס לממוצע הים שנמדד בעזה בשנת 1922.

\*איור 10

בניסיון לענות על שאלה זו, נחזור לגרף המדידות של המכשיר האנלוגי (איור 8). ניכר כי ממוצע מפלס פני הים נע סביב 1.00 ביחס לאפס קבוע. המכשיר האנלוגי פעל ביפו במהלך 1928-1929, והמדימרמטר פעל ביפו ובחיפה במהלך 1929-1930. בפעולתם של המכשירים הייתה חפיפה במהלך שנת 1929. ועדיין בין מדידות שני המכשירים קיים הבדל של חצי מטר בממוצע גובה פני הים.

במסמך בו מופיעים הסברים של התקנת מד הגאות האנלוגי משנת 1927 ביחס למד הגאות הישן, כתוב כי נקודת הייחוס נקבעה באופן שרירותי בעת כיול המכשיר ביחס למכשירים קודמים. האפס של המכשיר החדש נקבע באופן מכוון על 1 מטר, כנראה כדי שיהיה ניתן להבחין בקלות בין המדידות שלו למדידות של קודמו.

סביר להניח, כי המודדים השתמשו בשיטה זו גם על מנת להבדיל את המדידות של המדימרמטר שהותקנו בשנת 1928 בנמלים של חיפה ויפו. מכיוון שה-0 היה כבר "תפוס" ביפו על ידי מד הגאות הישן, ו-1 מטר היה כבר "תפוס" על ידי מד הגאות האנלוגי, כנראה שכיילו את מכשירי המדימרמטר על 0.5 מטר, גם ביפו וגם בחיפה, וכך בידלו את המדידות בהם מהמדידות הקודמות (שיטה שבשימוש גם היום לפי יוסי מלצר, ראש אגף מחקר ומדידות מיוחדות במפ"י). מכך עולה, כי הפער בממוצעי מפלס פני הים שמצוי בסרט המדידה משקף את הכיול בין המכשירים וכנראה שאינו מצביע על שינוי קיצוני במפלס פני הים.

בחוברת של שנת 1930 הוסבר כי בשל הדמיון בין המדידות בחיפה וביפו, הוחלט להפסיק את המדידות בחיפה, בה ההחזקה של רישום המפלס נתקלה בקשיים אך לא מפורט מה היו סוג הקשיים שבשלם הופסקה המדידה בחיפה (Gavish 2005). בהתקנת המכשירים בשנת 1928, מצויין כי ביפו היה מופקד על המדידות אדם ייעודי, בעוד בחיפה המדידות נעשו על ידי עובדי המכס (Horovitz, 2012) .יתכן ומכיוון שבחיפה לא היה מופקד על הרישום אדם ייעודי כפי שהיה ביפו, נוצר שם קושי ברישום. סופן של המדידות ביפו התרחש בשנת 1931 עקב סערה ימית בנמל, שהרסה את מכשירי המדידה והמדידות הופסקו (Lay, 1931). כנראה שמדידות מפלס פני הים שנמשכו כשנתיים בחיפה וביפו היו מספקות בכדי לקבוע את ממוצע מפלס פני הים לקראת בניית הנמלים בחיפה וביפו בראשית שנות ה-30 של המאה הקודמת.

בשנת 1933 נשלח מכתב ממהנדס האחראי על מחלקת העבודות הציבוריות בנמל חיפה למחלקת המדידות הממשלתית של המנדט הבריטי ובו נשאלה השאלה האם נמצא פער בין ממוצע מפלס פני הים בנמל חיפה לגבהים שנמדדו בעזה. תשובת מחלקת המדידות הבהירה כי לא ידוע להם על הבדלים מסוג זה בין שתי הערים. לאור זאת, עולה שמדידות המפלס ארוכות הטווח בחיפה מצאו את מדידות המפלס ה"גסות" של עזה משנת 1922 מהימנות.

## קביעת האפס לרשת האיזון הארצית הבריטית , 1934:

הבריטים ביקשו להעלות את רמת הדיוק של מדידות הגובה היבשתיות לצורכי התשתית ההידרולוגית בארץ, נבחרה שיטת מדידה של איזון מדויק הפעם בלולאות ולא באופן קווי. הלולאה הראשונה שנמדדה הייתה בין יפו, חיפה וטול-כרם, ובמהלכה התקינו את נקודות היסוד הראשונות בארץ. האיזון המדויק החל במאי 1934, ונקודות היסוד צוינו באות F (Fundamental). שלוש הנקודות הראשונות אותן התקינו הבריטים במדידות אלו היו: יפו-F1, טול - כרם- F2 וחיפה-F3 (Salomon, 1934) . החישוב של מדידות הלולאה הראשונה במחלקת המדידות של ממשלת המנדט הבריטי בארץ ישראל הסתיים בשנת 1936 (Fousvig, 1936). עד סיום המנדט הותקנו ונמדדו בארץ 25 נקודות יסוד בפרישה ארצית (Mitchell, 1948) (איור 11).

\*איור 11

כפי שנזכר לעיל, מדידות מפלס פני הים ביפו ובחיפה נעשו במקור כבסיס לתשתית הנמלים שהבריטים תכננו בערים אלו, אולם בשנת 1934 נעשה שימוש בממוצע מפלס פני הים שנמדד כבסיס להקמת רשת האיזון הארצית. נקודת הבסיס הראשונה ממנה החלו למדוד את לולאות האיזון המדויק בארץ נקבעה בחיפה יתכן וזאת בעקבות האישור שהתקבל במחלקת המדידות מחיפה בשנת 1933 לפיו הגבהים בחיפה נמצאו תואמים לגבהים בעזה. הנקודה היבשתית שנקראה a F3 נמדדה ביחס לממוצע של מפלס פני הים של חיפה בין השנים 1929-1930, ומיקומה נקבע בתחתית שכונת הטמפלרים ברחוב בן-גוריון (הכרמל 1943) (איור 12). גובה הנקודה F3 היה 5.259 מ' (Shapiro, 1943).

איור 12

המהלך של לולאת האיזון הראשונה המשיך מחיפה לטול-כרם, שם הותקנה נקודת F2 ומשם המשיך מהלך המדידה היבשתי ליפו אל a F1, ומיקומה היה בשדרות ירושלים (שדרות קינג-ג'ורג' 1934) . במהלך השנים נקודה זו נהרסה, אולם סוף המדידה ביפו נעשה אל נקודהA F1 החקוקה עד היום כ- BM על בניין הדואר בשדרות ירושלים 12 (איור 13) (Jeussivail, 1934).

איור 13

המהלך האחרון של הלולאה הראשונה היה בין נקודת A F1 שעל קיר הדואר לבין נמל יפו, לנקודת ה TGBM שנקבעה על ידי מדידת המפלס של המדימרמטר של יפו בין 1929 ל 1931. ההפרש בין הגובה של ממוצע מפלס פני הים לבין הגובה שנמדד בלולאת האיזון המדויק היה 12.5 ס"מ (Marine Survey, 1936). הדיוק של המדידה כנראה היה מספק, לכן הוחלט כי אין צורך לסגור את המדידה ביבשה. כלומר, מפלס פני הים שימש כפלס לסגירת לולאת האיזון המדויק הראשונה שנמדדה בארץ והעיגון של הרשת הארצית נסמך על שתי נקודת הדאטום של חיפה ותל-אביב. עם זאת הגובה של נקודה F1 ביפו נקבע ביחס למדידות יבשתיות, ואילו הגובה של נקודת F3 החיפאית נמדד בהתאם לממוצע מפלס פני הים, שלידה. לכן, הקשר בין מדידות רשת האיזון הארצית לממוצע מפלס פני הים נקבע בשנת 1934 בחיפה, וכך נקודת האפס של רשת הגבהים האורתומטרית הארצית נדדה מעזה (1922), לחיפה (1934) וזו הייתה נקודת האפס של הרשת האורתומטרית הארצית מכאן ואילך, למרות זאת הגבהים במפות הבריטיות שהודפסו בהוצאה חוזרת, נמדדו ביחס לאפס של עזה, כך עד סוף ימי המנדט (1948) .

במפות המנדטוריות של יפו החל משנת 1935 ואילך נמצאה חותמת אדומה המבקשת להעלות את כל הגבהים המופיעים במפה ב-40 סנטימטרים (איור 14). כלומר בעקבות מדידת האיזון המדויק מחיפה ליפו נמצא כי הגבהים שעל פיהם שורטטו המפות, נמוכים מהגבהים של אותן הנקודות ב- 40 ס"מ. הגבהים במפות יפו, בדומה לגבהים בכל מפות המנדט הבריטי נקבעו בהתאם לרשת הטריאנגולציה הארצית שנפרשה בראשית שנות ה-20 של המאה הקודמת, על פי האפס שנמדד בעזה. לכן, משמעות עליית גבהים עשויה היתה לנבוע משינוי מפלס ים, אולם מכיוון שבחיפה לא נמצא שינוי שכזה, יש לשער שהחותמת אינה עדות לשינוי מפלס, כי אם עדות לתיקון שגיאת מדידה באמצעות האיזון המדויק בשנת 1934 בין חיפה ליפו, אך לא נמצאו סימוכין לכאן או לכאן בארכיון. אם כך הוחלט להמשיך ולהדפיס את המפות עם הגבהים השגויים, אך להוסיף את החותמת כתיקון מקומי. מצאנו כי במפות עירוניות חדשות שנסקרו (survey) והוצאו לאור לאחר 1935 ביפו תוקנו הגבהים.

\*איור 14

## איתור נקודות גובה ברשת האיזון הארצית של שנות ה 30 במאה הקודמת ומדידתן:

בשנת 1938 נמדדה נקודת היסוד F14 במרכז הכרמל כחלק מפרישת רשת האיזון המדויק בכל הארץ. הגובה של נקודה זו נמדד מנקודת האפס עצמה (F3), שבתחתית המושבה הגרמנית בחיפה ותיאור המדידה, לרבות מפות נמצא בארכיון החישובים של מפ"י ( איור 15).

\*איור 15

כך ניתן היה לזהות בבירור היכן היה מיקומה של נקודת F3, וכל נקודות הגובה שנמדדו בדרך לנקודת היסוד F14. הצלחנו למצוא בשטח 2 מתוך הנקודות שנמדדו: 8, H182, ואת ערכי גובהן ההיסטוריי משנת 1938 (איור 16).

איור 16

בנוסף לכך השוואה בין גבהים במפה שבה נרשמו ה-BM של חיפה משנת 1938 (Watson, 1938), לאלו שנמדדו מחדש באיזון מדוייק בדרגות דיוק גבוהות על ידי מפ"י נמצא כי הגבהים היום של אותן הנקודות גבוהים יותר בממוצע ב 4.5 ס"מ (טבלה 1). מכאן הסקנו שממוצע מפלס פני הים בחיפה בשנים 1929-1930, לפיו נקבעה נקודת האפס לרשת הגבהים האורתומטרית בארץ ישראל היה נמוך ב-4.5 ס"מ ממוצע הים לפיו קבעו את נקודת האפס של הרשת האורתומטרית של מדינת ישראל (טבלה 1).

מדידה חוזרת של נקודה A F1 בשדרות ירושלים 12 ביפו (איור 17), שנערכה ב 15 במאי 2017, מצאה כי גובה הנקודה הוא 5.238 מטר. לפי המדידה היבשתית משנת 1936 גובה הנקודה היה 5.337 מטר. הפער אם כך הוא של 9.9 ס"מ. לפי המדידה הזו מפלס פני הים בשנת 1936 היה גבוה ב 9.9 ס"מ. אולם יש לזכור כי את הנקודה הזו השוו בשנת 1936 לממוצע מפלס פני הים ביפו, ולפי מדידה זו גילו כי הים גבוהה ב-12.5 ס"מ מגובה הנקודה, ולכן לפי המדידה החוזרת גובה מפלס פני הים בשנת 1936 היה גבוה ב-2.6 ס"מ ביחס לאפס של הרשת האורתומטרית הארצית היום (2.6=12.5-9.9 ס"מ).

# נקודת האפס לרשת הגבהים האורתומטרית הארצית, של מדינת ישראל:

## נקודת האפס במדינת ישראל

בשנת 1954 מדינת ישראל התקינה לראשונה ביפו מד גאות שכוייל לפי הגובה של נקודת A F1, כלומר הכיול של המכשיר נעשה ביחס למדידות ההאיזון היבשתיות הבריטיות שבין חיפה ליפו. ה TGBM של מד הגאות היה נקודת בנ 223 ממש מעל למד הגאות עצמו על הרציף ממערב להאנגר 1 בנמל יפו, וגם היא כויילה ל- A F1 (Alster, 1956). בשנת 1962 הוחלף מד הגאות במקום מאחר שמד הגאות הישן התקלקל עוד בשנת 1959, מד הגאות החדש כוייל שוב לנקודה בנ 223 כלומר, כיול מד הגאות בשנת 1962 ביפו נעשתה גם היא ביחס לאפס שקבעו הבריטים בחיפה (Alster 1962). במכתב המתעד את התקנת מד הגיאות בשנת 1962, נוספה הערה, כי בנ 223 נמוכה מהגובה של חיפה ב 3.4 ס"מ (Alster 1962) . מכאן עולה, שקביעת נקודה בנ 223 היתה יבשתית, ביחס לחיפה ובנוסף היא התייחסה גם אל מד הגאות שלצידה. וכי לפי מדידה זו גובה ממוצע הים ביפו בשנת 1962 היה גבוה ביחס ל- A F1 ב 3.4 ס"מ.

בשנת 1985 במפ"י החליטו להקים נקודת גובה (F) חדשה בנמל יפו (Shirman, 2001). נקודה זו קיבלה את השם F55, והיא נמדדה ביחס לנקודה שהיום כבר אינה קיימת אך גם היא נמדדה בשנת 1962 ביחס ל-A F1 בשדרות ירושלים, ביפו. שם הנקודה היה בנ 224 (איור 17) . מיקום F55 נבחר להיות בסיס בטון יצוק של אחת מרגלי מנוף בנמל שעמד על מקומו עשרות שנים, המנוף לא היה בנמל בשנת 1985, אך משקולת הבטון היצוקה של רגלו עדיין עמדה בשטח. הנקודה כפי הנראה נתפסה כיציבה, ולכן נבחרה להגן בתוכה על נקודת F55 החדשה (Shirman, 2001).

איור 17

מכיוון שמדידת הגובה של הנקודה החדשה בשנת 1985 נעשתה ביחס לנקודת בנ 224, למעשה, גם היא נמדדה ביחס לאפס הארצי של חיפה. אם כך, התקנת מד הגאות הישראלי בשנת - 1962, וגם ב- 1985 הייתה יחסית לאפס הארצי של חיפה. במקביל בנמל אשדוד, בשנת 1958 כוייל מד הגאות לנקודת היסוד F17. כמו כל נקודות היסוד בארץ, גם היא נמדדה בלולאות האיזון המדויק הבריטי ביחס לאפס של חיפה בשנות ה-30 של המאה הקודמת. בשנת 1967 עם שיפוץ הנמל באשדוד הועבר מד הגאות פעמיים ממקומו, עד שהתקבע במקום חדש (Goldsmith and Gilboa, 1986; Shirman 2001) . עקב מעברים אלו, מדידות ממוצע מפלס פני הים באשדוד הציגה עלייה של 6 ס"מ (Goldsmith and Gilboa, 1986). בשנת 1983 נהרסה נקודת F17 ולכן הועברה נקודת האיזון היבשתית באשדוד לנקודה חדשה בפתח הנמל: A718, אך נקודה זו כויילה לנקודות יבשתיות מרוחקות מהים אך גם לנקודה בנ 223, שלצד מד-הגאות ביפו (Shirman, 2001).

בשנת 1995, בעקבות מדידות גובה יבשתיות שנעשו בארץ בשיטה של איזון מדויק, ופערים שנמצאו בגבהים, הוחלט במפ"י ליצור תיאום מחודש של רשת נקודות הגובה למפלס פני הים. לצורך כך נעשתה חשיבה מקדימה לגבי קביעה מחודשת של גובה האפס של רשת האיזון הארצית במדינת ישראל (שיחה בע"פ עם ד"ר שטינברג, שהיה המדען הראשי של מפי 2003-2009). הוחלט להתייחס למד הגאות של אשדוד כקובע לגבי מדידות ממוצע מפלס פני הים, ולנקודת A718 כאפס המעגן את רשת הגבהים האורתומטרית הארצית בישראל החל משנת 1986. הבחירה באשדוד נעשתה מכיוון שמדידות המפלס בה היו הרציפות ביותר בארץ, ובאופן יחסי מדויקות (Shirman, 2001). והאפס של רשת האיזון הארצית נקבע לפי ממוצע מפלס פני הים של שנת 1995 ישראל (שיחה בע"פ עם ד"ר שטינברג, שהיה המדען הראשי של מפי 2003-2009), כך נדד האפס של מדינת ישראל מחיפה אל אשדוד ושם הוא מצוי עד היום.

בשנת 1996 החליפו ביפו ובאשדוד את מדי הגאות האנלוגיים, למדי גאות דיגיטאליים (Shirman, 2001). נוספו מדידות דיגיטאליות גם בעכו, חיפה, ואשקלון, בהן לכל מד גאות יש TGBM משלו, ונקודת גובה יבשתית ברשת הארצית אליה הוא מכוייל. הנקודות היבשתיות כולן נמדדו בהתאמה לנקודת האפס של אשדוד, אך הן גם מהוות בקרה לאותה נקודת האפס, היות והן נמדדות גם ביחס למדי הגאות המקומיים שסמוכים להן (Shirman, 2001). כך, מדינת ישראל שאימצה עם הקמתה את האפס הבריטי בחיפה העבירה אותו בשנת 1995 לאשדוד. היום מד הגאות של אשדוד הוא הקובע את ממוצע מפלס פני הים של ישראל, ולפיו נקבע גובה נקודת A718 שסמוכה לו, היא האפס של רשת הגבהים האורתומטרית הארצית, אולם הנקודות בעכו, חיפה, יפו ואשקלון, הן נקודות עיגון משניות נוספות לרשת האיזון הארצית.

המכון לחקר ימים ואגמים קבע נקודת איסוף נתונים ימיים בקצה מסוע הפחם ברציף של חברת החשמל בחדרה. מד-הגאות במקום חובר אל רשת האיזון המדויק הארצית על ידי מרכז למיפוי ישראל בין השנים 1992 לשנת 1994 (שיחה בעל-פה עם יוסי מלצר, מנהל מחלקת מחקר ומדידות מיוחדות המפ"י).

מפלסי הים של ים סוף, של ים המלח וכן של הכינרת נמדדו גם הם לאורך השנים, כשהן מעוגנות לים התיכון. בים המלח ובכינרת החלו המדידות משנת 1927 ומשנת 1928 (בהתאמה), והן מוצגות בחוברות הסיכום השנתיות החל משנת 1928 (Lay, 1928). בשנת 1936 חוברו מדידות מפלס ים המלח לרשת האיזון הבריטית, (Salomon, 1936) ובשנת 1937 חוברה גם הכינרת. (Salomon, 1937) מדידות מפלס ים סוף החלו ביולי 1961, ואישור על עיגונן לרשת האיזון הארצית התקבל במשרדי מרכז מיפוי ישראל רק בינואר 1962 (Alster, 1962).

מכל האמור לעיל ניתן לראות שנקודת האפס שנקבעה בשנות ה-20 בעזה על ידי הבריטים, נדדה לחיפה בשנות ה-30, ואומצה על ידי מדינת ישראל עד שנת 1995, אז נדדה שוב נקודת האפס לאשדוד ושם היא ממוקמת עד היום.

נקודה F55 ביפו, נבחרה כנקודה תיירותית, המנציחה את מנהל מרכז למיפוי ישראל, אביאל רון המנוח, ואף מנגישה את נושא קביעת האפס וחשיבותו למיפוי של מדינת ישראל לציבור הרחב. אמנם זוהי נקודה משנית ברשת הגבהים האורתומטרית הארצית, ביחס לנקודה באשדוד, אך בשל מרכזיותה ונגישותה לציבור הרחב, היא נבחרה כמוקד התיירותי. בנוסף, המאמר הנוכחי מראה כי חשיבותה של נקודת F55 ביפו מרובה, מכיוון שהיא חולייה המקשרת בין המדידות העכשוויות, לבין המדידות הבריטיות בשנת 1934, ובהשוואה אליה ניתן למדוד את מפלסי הים ההיסטוריים.

# ממוצע מפלס פני הים בשנים 1922 ו 1929-30 ביחס לממוצע מפלס פני הים בשנת 1995:

מדידת ממוצע מפלס פני הים הבריטית נועדה ליצור תשתיות גיאוגרפיות וגיאודוזיות, כבסיס לפרישת רשתות גבהים אורתומטריות ארציות ברמות דיוק שונות . במאה ה-21 חל היפוך ביחסים בין המדידות הימיות והיבשתיות. במקום שהאפס של רשת הגבהים ימדד ביחס לממוצע מפלס פני הים, מפלס פני הים נמדד ביחס לאפס היבשתי ומאפשר מעקב מאוד מדויק אחר התנהגותו של הים. מדידת מפלס פני הים עדיין משמשת כבסיס נתונים להחלטה אם לשנות את האפס של רשת הגבהים האותומטרית הארצית, ולבקר את רשת האיזון הקיימת, ובנוסף, המדידות חשובות לצרכי מיפוי ימי. שינוי מפלס פני הים גורר איתו שינויים בקו החוף, ואלו בתורם, משפיעים על חוקי תכנון ובניה בארץ (שיחה בע"פ עם יוסי מלצר, מנהל אגף מחקר ומדידות מיוחדות במפ"י ). אך, חשיבות מרובה יש למדידה המדויקת של מפלס פני הים בישראל למחקרי האקלים העכשוויים, אליהם נושא עולם המחקר עיניים בעשורים האחרונים (Woodworthet al., 2009). מחקרים אלו גילו כי מאז 1958 ממוצע מפלס פני הים בחוף הים התיכון הישראלי גבוה ב- 5.5 סנטימטר מהאפס של רשת הגבהים האורתומטרית הארצית, וכי משרעת המפלס הרב שנתית מגיעה עד 15 ס"מ, במחזוריות של 20 שנה (Shirman, 2004).

הגבהים היבשתיים נגזרים ממדידות ממוצע מפלס פני הים הסמוך להם, ולכן נקודות הגובה ההיסטוריות מעידות באופן עקיף על ממוצע מפלס פני הים ההיסטורי, שנמדד בזמן קביעתן. מכאן עולה, כי מדידות חוזרות של נקודות גובה היסטוריות, ביחס לאפס של הרשת האורתומטרית של מדינת ישראל, מעידות באופן עקיף על שינויים במפלס פני הים ההיסטורי. נקודת האפס של הרשת האורתומטרית של מדינת ישראל נקבעה בשנת 1995 לפי ממוצע הים באותה השנה באשדוד. השוואה בין הגבהים ההיסטוריים לגבהים העכשוויים מצאה כי ממוצע מפלס פני הים ההיסטורי והעכשווי דומים: בשנת 1922 בעזה ממוצע מפלס פני הים היה 1.6+ ס"מ ביחס לממוצע מפלס פני הים בשנת 1995. מקרה מורכב יותר נמצא בשנים 1929 – 1931: המדידות בחיפה הציגו מפלס ים של 4.5- ס"מ ביחס לממוצע מפלס פני הים בשנת 1995, ואילו ביפו המדידות הראו כי מפלס פני הים באותן השנים היה 2.6+ ביחס לממוצע מפלס פני הים בשנת 1995(Shirman, 2004). אם כך, מהמדידות החוזרות מתקבל כי ההפרש בין מפלס פני הים בחיפה וביפו בשים 1929-1930, היה 7.1 ס"מ וזוהי כנראה שגיאת המדידה היסטורית של אותן השנים. מתוך כל הממצא במחקר זה מסתבר שממוצע מפלס פני הים בשנים 1922 1930 ו-1995, השתנה מעט בחוף הים התיכון הישראלי, וגם תחום השגיאה שנמצא בין חיפה ליפו הן בתחום המוכר לנו מהמחקר הרציף ארוך הטווח, כלומר, הם בתחומי הנורמה(Shirman, 2004). (איור 18).

\*איור 18

# סיכום:

המחקר עקב אחר תהליך קביעת גובה האפס של מדינת ישראל מימי מחלקת המדידות הממשלתית של המנדט הבריטי ועד ימינו. בשנת 1922 נמדדו הגבהים בצורה גסה אל נקודת הבסיס של רשת טריאנגולציה, באזור אורים של היום, עם זאת הגבהים במפות הבריטיות עד 1947 הסתמכו על מדידות גסות אלו. בין 1929-1930 מדדו הבריטים את מפלס פני הים ביפו ובחיפה באופן רציף וארוך טווח, כבסיס להקמת הנמלים. בשנת 1934 השתמשו הבריטים במדידות המפלס הללו להתקנת רשת איזון ארצית. נקודות גובה אלו יוחסו אל ממוצע מפלס פני הים בחיפה, ונראה כי ייחוס זה נשמר גם בראשית המדידות במדינת ישראל עד 1995. חקירה ופרסום של מדידת ממוצע מפלס פני הים הבריטי מתפרסמות במאמר זה לראשונה, וכך גם הקישור בין קביעת האפס של רשת האיזון הבריטי לרשת האיזון של מדינת ישראל.

מפלס פני הים היה גורם מפתח בבניית תשתיות יבשתיות בריטיות בארץ ישראל בתקופת המנדט. התשתיות היבשתיות שבהן בא לביטוי מפלס פני הים הפכו, במחקר הנוכחי, עדות למפלס פני הים ההיסטורי. אמנם העדות אינה רציפה, אך היא מאפשרת להשוות שנים ספציפיות למפלס העכשווי. כך נקודות גובה משנות העשרים ומשנות השלושים של המאה הקודמת, מראות כי גובה האפס שנקבע במדינת ישראל על סמך ממוצע מפלס פני הים באשדוד בשנת 1995, היה מאוד דומה לגובה של האפס בעזה בשנות העשרים ולזה של חיפה בשנות השלושים, אשר גם הם נקבעו על סמך ממוצע מפלס פני הים של זמנם. מכך ניתן להעריך כי ממוצע מפלס פני הים בחופנו משנת 1922 ועד שנת 1995 השתנה באופן מינורי בלבד וכך גם שינויו בשנות ה 20: בין 1922 ל-1929-30. הערכים הללו מתאימים לערכים הנמוכים במשרעת הרב שנתית של ממוצע מפלסי הים השנתי בחוף הים התיכון הישראלי.

# בבליוגרפיה:

אלסטר, י. ארכיון מחלקת החישובים במפ"י, איזון מדוייק V, תיק הפרשי גבהים 123-320, 1949-1956.

אלסטר, י. 'התקנת מריאוגרפים באילת וביפו', 1962, ארכיון מחלקת החישובים במפ"י, D III, נמל יפו: גובה פני הים.

אלסטר, י. "תשובה למנהל השירות ההידרולוגי בנוגע למריאוגרף באילת", ארכיון מחלקת החישובים מפ"י, D VI מריאוגרף אילת, 1962.

גביש, ד. וביגר, ג. 'לתולדות המיםוי האווירי בארץ: מפות עיר ראשונות מתצלומי אויר", *קתדרה*, 20, 1981,

גביש, ד. 'קרקע ומפה: מהסדר הקרקעות למפת ארץ ישראל 1920 – 1948', ירושלים, (2005).

גולדשמייט, ו. וגלבוע, מ. 'גאות ושפל בישראל', אופקים בגיאוגרפיה, 15,( 1986).

הורוביץ, ח. ' מחלקת המדידות של ארץ ישראל בתקופת המנדט – חלק ב' ההערכות המקצועית', <http://mapi.gov.il/Heritage/Pages/history_mandat_b.aspx>, 2012.

מרצ'ינקובסקי, נ. גשם משמים בהירים: חיי עם ולדימיר פ. מרצ'ינקובסקי, חיפה, 1994.

משולם, י. 'דו"ח על התקנת מריאוגרפים',1960, ארכיון מחלקת החישובים, , Jaffa mean sea level: 16(1/2).

משולם, י. והורוביץ, ח. 'מכשירי מדידה ושיטות מדידה' , אתר מורשת מרכז מיפוי ישראל, 2009: http://mapi.gov.il/Heritage/Pages/machsiry-medida-sitot-medida.aspx.

רוזן, ד. 'שינוי מפלס הים ובחינת ההשלכות על מצב חופי הים התיכון של ישראל.' אגמים, המים בארצנו, ביטאון נציבות המים ומנהלת הכינרת, 169, 2004, עמ' 7-13.

Beenstock, M. Felsenstein, D. Frank, E. Reingewertz, Y. ‘Tide gauge location and the measurement of global sea level rise’, *Environmental and Ecological Statistics*, 22(1), (2015), pp. 179-206;

Conder, C.R. and Kitchener, H.H. *The survey of western Palestine: memoirs of the topography, orography, hydrography and archaeology,* I: Galili, eds. E.H Palmer, and W. Besant, London, 1881, p.32

Drin B.U. ‘Jaffa tide gauge graph 1928-1929’,1929 , Survey of Israel calculation department archive, Jaffa mean sea level 16(1/2), Jaffa tide observation D/30.

Drin, B.U. ‘Reading the Medimaremeter instruction’, , Survey of Israel calculation department archive, Water levels D IV, old (S/4-(a1)).

Fousvig, B. ‘Tide gauge Jaffa’, 1929, Survey of Israel calculation department archive, Jaffa mean sea level: 16(1/2), Jaffa tide observation D/30.

Fousvig, B. ‘Haifa:3F-Tul-Karem:2F-Jaffa:1F’, 1936, Survey of Israel calculation department, 9, 1/5, Precise Levelling Computation Previsional heights page 1-119.

Goren, H. 'Sacred, But Not Surveyed: Nineteenth-Century Surveys of Palestine', *Imago Mundi*, 54 (2002).

Goren, H. *Dead Sea Level: Science, Exploration and Imperial Interests in the Near East* (Tauris Historical Geography Series, 6), London: I.B. Tauris, 2011, p. 234.

Gvirtzman, Z, Zilberman, E. & Folkman, Y.. ‘Reactivation of the Levant passive margin during the late Tertiary and formation of the Jaffa Basin offshore central Israel’, *Journal of the Geological Society*, Mar 1;165(2), (2008).

Harvey, A.L. ‘Haifa harbor-Mean Sea Level’, 1927, , Survey of Israel calculation department archive, Water level D III, old S/4-(a1) IV(1).

Jeussivail, J.E. ‘Description of Benchmarck no. F/1 A’, Survey of Israel calculation department, vertical control network, height point descriptions, 1F-71F.

Jhuiler, N. ‘Fixing the Medimaremeter tube’, 1928, Survey of Israel calculation department archive, Water levels D IV, old (S/4-(a1)).

Klein, M,. Lichter, M, & Tzviely, D. ‘Recent sea-level changes along Israeli and Mediterranean coasts’, *Ofakim Begeograpia*, 60–61, (2004) pp. 167–176.

Klein, M. Lichter, M. ‘Statistical analysis of recent Mediterranean Sea-level data’, *Geomorphology*, 107(1), (2009), pp. 3-9

Lambeck, K. & Purcell, A. ‘Sea-level change in the Mediterranean Sea since the LGM: model predictions for tectonically stable areas’, *Quaternary Science Reviews,* 24, (2005).

Ley, C. H. *Annual report of director of surveys*, Jerusalem, 1921.

Ley, C. H. *Annual report of director of surveys*, Jerusalem, 1922.

Ley, C. H. *Annual report of director of surveys*, Jerusalem, 1928.

Ley, C.H. *Annual report of director of surveys*, Jerusalem,1929.

Ley, C.H. *Annual report of director of surveys*, Jerusalem, 1930.

Ley, C. H. *Annual report of director of surveys*, Jerusalem, 1931.

Mitchell, A. P. ‘Table 22’, *Department of Survey report for the years 1940-1946*, Jerusalem , 1948.

Rosen, D.S. ‘A review of sea level monitoring status in Israel’,Rosen D.S. and A. Thorkild (eds*.), Intergovernmental Oceanographic Commission & International Commission for the Scientific Exploration of the Mediterranean Sea. MedGLOSS Pilot Network Workshop and Coordination Meeting*, IOC workshop Report 176, Haifa, (2002) pp. 49-62.

Salomon,F. J. *Annual report of director of surveys*, Jerusalem, 1934.

Salomon,F. J. *Annual report of director of surveys*, Jerusalem, 1936.

Salomon,F. J. *Annual report of director of surveys*, Jerusalem, 1937.

Shapiro, J. ‘Description of Benchmarck no. F/3 a’, Survey of Israel calculation department, vertical control network, height point descriptions, 1F-71F.

Schattner, U, Lazar, M, Tibor, G, Ben-Avraham, Z. & Makovsky. Y. ‘Filling up the shelf—A sedimentary response to the last post-glacial sea rise’, *Marine Geology*, 15;278(1), (2010).

Shirman, B. ‘Israeli coast sea level changes: during 1958-2001’, Tel-Aviv, (2001).

Shirman, B. ‘East Mediterranean sea level changes over the period 1958–2001’, *Israel Journal of , Earth Sciences*, 53,2004.

Toker, E. Sivan, D. Stern, E. Shirman, B. simplis, M,T. & Spada, G. ‘Evidence for centennial scale sea level variability during the Medieval Climate Optimum (Crusader Period) in Israel, eastern Mediterranean’,  *Earth and Planetary Science Letters,* 15,315, )2012(, p.60.

A. Vilensky, ‘Section I: sea level-tran.p. 78/16’, 1922, Survey of Israel calculation department archive, Water level-D2, Mean sea level Gaza, Levelling party: Description book.

J.K.A. Watson,‘Benchmark location map: municipal corporation of Haifa’, 1:10,000, Survey of Israel calculation department, Old BM: Haifa: The Mandate era, Haifa, general list of heights-42.

Woodworth, N.J. White, P.L. Jevrejeva, S, Holgate, S.J. Church, J.A. and Gehrels. W.R. ‘Evidence for the accelerations of sea level on multi‐decade and century timescales’, *International Journal of Climatology*, 2009, May 1; 29 (6), 777.

נספחים:

1. טבלה: השוואה בין גבהים שנמדדו על ידי הבריטים בחיפה בשנת 1938 ביחס לF3 למדידות עדכניות באיזון מדויק של אותן נקודות בחיפה:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| שם הנקודה | מדידה היסטורית | מדידה עדכנית | שנת מדידה חוזרת | פער | ממוצע |
| H2 | 6.415 | 6.459 | 2002 | 0.044 | 0.04543 |
| H11 | 6.43 | 6.476 | 2001 | 0.046 |  |
| H34 | 8.686 | 8.728 | 2008 | 0.042 |  |
| H87 | 4.908 | 4.908 | 2010 | 0 |  |
| H114 | 88.029 | 88.099 | 2001 | 0.07 |  |
| H143 | 5.196 | 5.247 | 2001 | 0.051 |  |
| H191 | 50.192 | 50.257 | 2001 | 0.065 |  |

1. המחקר נתמך על ידי בית ספר פורטר ללימודי סביבה ועל ידי קרן סמולר-ויניקוב. ברצוננו להודות למרכז למיפוי ישראל (מפ"י) שפתח לפנינו את שעריו, ובמיוחד ליוסי מלצר איליה פרלמן ומאיר מלין מתחום מחקר ומדידות מיוחדות במפ"י. למרינה קוזקוב מנהלת אגף חישובים גיאודטים במפ"י ולעמנואל פולק מאגף חישובים גיאודטים. [↑](#footnote-ref-1)