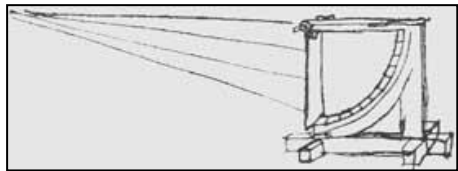
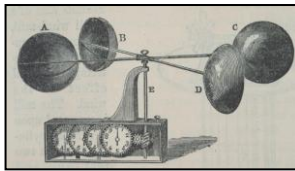
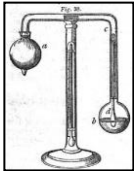


## הטלגרף והרדיו בשרות המטאורולוגיה

### אברהם אמיר – 4X4FW

תחזיות מזג האוויר נחשבות בימינו כדבר המובן מאליו. בשנים האחרונות ובמיוחד בעשור האחרון, דיוק התחזיות הגיע לרמה שלא הייתה כמותה מאז החלו בחיזוי מזג אוויר. 650 שנים לפני הספירה ניסו הבבלים לחזות את מזג האוויר על סמך צפייה בצורות העננים. בשנת 340 לפני הספירה הפילוסוף היווני **אריסטו** ביצע תצפיות רבות וארוכות בתופעות מזג האוויר. הוא חיבר תזה פילוסופית רחבת היקף בארבעה כרכים המפרטת את הגורמים ליצירת הגשם, הברד, הרוח, הרעמים, הברקים ורוחות הציקלון. במשך כאלפיים שנים נחשבה תורתו של אריסטו בתרבות המערבית כמוסמכת במה שקשור לחיזוי מזג האוויר. רק בתחילת המאה השבע עשרה לספירה החלו לפקפק באמינותה.

בסוף תקופת הרנסנס הוכח שהתיאוריות העתיקות היו שגויות ודרוש ידע להבנת התופעות האטמוספריות כמו הלחות, הטמפרטורה ולחץ אוויר. בשנת 1450 ליאונה בטיסטה אלברטי האיטלקי המציא את מד-מהירות הרוח (אנומטר). בסוף המאה השש עשרה **גלילאו גליליי** המציא באיטליה את מד-החום הראשון. **טוריצ'לי** שהיה תלמידו של גליליי המציא את מד-לחץ האוויר (ברומטר) בשנת 1643. ליאונרדו דה-ונצי הגה לראשונה את הרעיון למדידת לחות האוויר בשנת 1480, אך יוהן היינריך למברט תכנן את מד הלחות (היגרומטר) המעשי הראשון בשנת 1775.



היגרומטר נקודת הטל שרטוט מד-רוח כסות משנת 1880

שרטוט מד-הרוח של אלברטי

מכשירי מדידה אלה שופרו ושוכללו במהלך המאות השמונה עשרה והתשע עשרה וחוקרים במקומות שונים החלו לבצע תצפיות ומדידות אטמוספריות. בתקופה זו פותחו גם טכנולוגיות לעיבוד נתוני התצפיות וכן תיאוריות וחישובים מתמטיים אשר תרמו להבנת התופעות האטמוספריות. כשאיסוף נתוני התצפיות התמסד ובוצע על ידי גורמים ממשלתיים וציבוריים, מספר תחנות התצפית גדל והלך וכיסה שטחים גדולים. כדי לייצר תחזית אמינה ומפורטת יש צורך בפריסה רחבת היקף וצפיפות מתקבלת על הדעת של תחנות התצפית. בנוסף לכך, הגורם החשוב ביותר הוא העברת הנתונים למרכז החיזוי בזמן קצר ככל שניתן. בתקופה זו הזמן בין האיסוף לקבלת התצפיות ממקומות קרובים ארך שעות וממקומות רחוקים ארך יממות.

### מהפכות הטלגרף והרדיו

המהפכה הדרמתית ביכולת חיזוי מזג האוויר החלה באמצע המאה התשע עשרה עם המצאת הטלגרף הקווי. היא גרמה לכך שהנתונים מתחנות התצפית שבקרבנותן קיימת תחנת טלגרף, הגיעו בזמן כמעט אמיתי למרכז החיזוי. מעתה ניתן היה במרכזי החיזוי לשרטט מפות סינופטיות בזמן כמעט אמיתי שגרם לשיפור התחזיות. המפות הסינופטיות בשלב הזה כיסו את גופי היבשה בלבד, כי לא הייתה אפשרות לאסוף נתונים מכלי שיט השטים בגופי המים (אגמים, ימים ואוקיאנוסים). כשהחל עידן הטלגרף האלחוטי בתחילת המאה העשרים, התרחשה המהפכה הדרמתית השנייה ששינתה את התמונה לחלוטין. תחנות התצפית שהיו ללא טלגרף קווי בקרבנותן יכלו מעכשיו להעביר את נתוני התצפית באמצעות תחנות הטלגרף האלחוטי.

### מהפכת קשר הרדיו הימי

התקנת מכשירי טלגרף אלחוטי בכלי שיט מסחריים המצוידים במכשירי תצפית מטאורולוגית אפשרה לבסוף הפקת מפות סינופטיות מלאות ששפרו את יכולת החיזוי. קשר הרדיו בספינות שימש להעברת הנתונים המטאורולוגיים בצורה דו-סטריית. קצין הרדיו (האלחוטן) שידר למרכז האיסוף האזורי את נתוני המדידות שבצע קצין הסיפון התורן בספינה בכל שש שעות. לאחר עיבוד הנתונים, מרכז החיזוי שידר באופן

שוטף את התחזיות עבור האזורים השונים ליממה הבאה. תפקידו של האלחוטן היה גם לקלוט ולרשום את התחזיות המתחדשות ולהעבירן לגשר הפיקוד בספינה. במהלך השנים אלפי ספינות מסחר המצוידות בתחנת תצפית מטאורולוגיות, סייעו למרכזי החיזוי בנתונים משטחי האוקיאנוסים. מסלולי ספינות המסחר התמקדו בנתיבים קבועים ולא כיסו את כל שטחי האוקיאנוס. כדי לאסוף נתוני מדידה מהאזורים הלא מכוסים, הוחלט להציב בהם "ספינות מזג אוויר" שתפקידן הראשוני לשדר ברדיו תצפיות מטאורולוגיות ובנוסף הוטלה עליהם המשימה לסייע באיתור והצלת ספינות במצוקה. במהלך מלחמת העולם השנייה מספר ספינות מזג האוויר גדל משמעותית ותרם רבות לכוחות הים והאוויר. לאחר המלחמה נחתם הסכם בין עשר מדינות בו הוחלט להציב תשע ספינות מזג אוויר בצפון האוקיאנוס האטלנטי ושלוש בצפון האוקיאנוס השקט. רוב הספינות פעלו עד סוף שנות הששים ועם תחילת השימוש בלוויינים ובעיקר במצופים מטאור ולוגיים לא מאוישים, הפסיקו לפעול בהדרגה וספינת מזג האוויר האחרונה סיימה את תפקידה בשנת 2010.



ספינת מזג האוויר קולומבוס

### מצופי מזג האוויר

עלות ההצבה וההפעלה של ספינות מזג האוויר הייתה גבוהה מאוד בהשוואה לעלות מצוף מזג האוויר הבלתי-מאויש. השימוש במצופים החל בשנת 1951 ובשנות השבעים התרחב למימדים גדולים כשהחליף את ספינות מזג האוויר. בנוסף למצוף המטאורולוגי המקובל המעוגן לקרקעית הים, נכנסו לשימוש מצופים נסחפים קטני מימדים המיועדים לפעולה לתקופה קצרה.



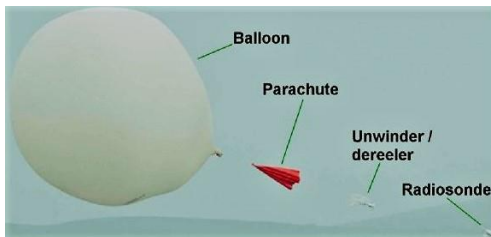
מצוף מזג אוויר נסחף



מצוף מזג אוויר מעוגן

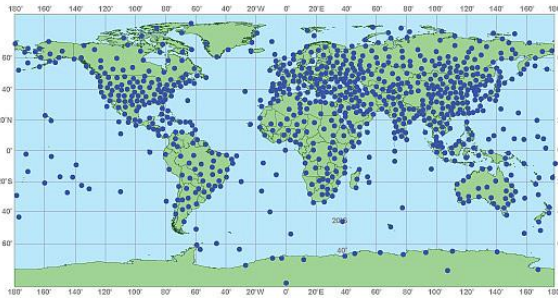
### הרדיוסונדה - Radiosonde

בנוסף להעברת הנתונים מהתצפיות שנאספו על הקרקע ומעל פני הים, השימוש בשידור רדיו תרם מאוד להעברת נתונים מתצפיות רום מעל לקרקע, כדי ליצור מפות תלת-ממדיות. באמצע המאה השמונה עשרה החלו בניסויים למדידות טמפרטורה ולחץ אוויר בגובה רב באמצעות עפיפון. מדענים צרפתים המציאו בשנת 1780 את הכדור הפורח שפועל באמצעות אוויר חם והוא



נוצל לנשיאת מד חום, מד לחץ ומכשירי מדידה אחרים לחקר האטמוספירה. לאורך המאה התשע עשרה העיפוניים והכדורים הפורחים שמשו לאיסוף נתונים באטמוספירה הגבוהה. נתוני המדידה נרשמו ברשמים גרפיים אשר הוחזרו לקרקע והועברו למרכז האיסוף. לתצפיות אלה היה חיסרון משמעותי כי הנתונים לא הגיעו למרכז החיזוי בזמן אמיתי. חסרון זה דרבן את המדענים בסוף שנות העשרים של המאה העשרים להעביר את נתוני המדידות באמצעות משדר רדיו לתחנת קליטה בקרקע. בתחילת שנות השלושים פותח מכשיר הרדיוסונדה (Radiosonde) חקשור בחוט בלבון גדול הממריא מהקרקע לגובה רב של עד 35 ק"מ ונסחף לאורך מעופו עד למרחק של 200 ק"מ. במסעו של הבלון באוויר הנתונים הנמדדים ברום האטמוספירה משודרים ברציפות לתחנה הקליטה,

והפענוח בקרקע. מכשירי הרדיוסונדה הראשונים פעלו עם מתנד שפופרתי פשוט ששידר בתחום הגלים הקצרים נתונים מקודדים בהספק נמוך. כאנטנה שימש חוט מוליך שהזדנב מתחת לתיבת הרדיוסונדה. מכשיר הרדיוסונדה הפך לכלי האיסוף העיקרי לתצפיות רום בכל הארצות. בפעילות הימית והאווירית המוגברת במהלך מלחמת העולם השנייה נדרשו תחזיות מזג אוויר מדויקות ומעודכנות בזירות הלחימה וצוותים להפעלת רדיוסונדה שרתו בכוחות היבשה, הים והאוויר. תצפיות הרום באמצעות בלוני הרדיוסונדה נמשכות מאז ועד היום בשרותם של



מפת הפריסה העולמית של תחנות להפעלת רדיוסונדה

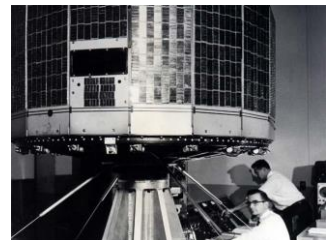
מכונים מטאורולוגיה אזרחיים וצבאיים בכל העולם. עם התקדמות טכנולוגיות האלקטרוניקה והמחשבים, הצידוד בתוך תיבת הרדיוסונדה הלך והשתכלל ובעשורים האחרונים היא כוללת גם מקלט GPS המדווח על מסלולו המדויק של הבלון בזמן אמיתי לאורך מעופו.

### מכ"ם מזג האוויר – Weather RADAR

מפעילי מכ"ם במהלך מלחמת העולם השנייה שמו לב להדים המוחזרים מעננים, גשם ושלג, אשר מציגים על המסך צורות הניתנות להבחנה. לאחר המלחמה חלקם של עובדי המכ"ם המשיך לעסוק בחקר ופיתוח המכ"ם וביניהם היה **דייוויד אטלס** (שמוצאו ממשפחה יהודית בניו-יורק). הוא פעל במסגרת חיל האוויר האמריקאי והמשיך את פעילותו ב-MIT. אטלס פיתח את מכ"ם מזג האוויר הראשון וערך מחקרים לפענוח ההדים המוחזרים מתופעות מזג אוויר שונות המוצגים במסך, לשימוש בחיזוי מזג האוויר. פעילות מחקרית בנושא זה התרחשה גם בקנדה ובאנגליה. המחקרים הראו ששימוש באורכי גל שונים מאפשר הבחנה ממוקדת בעננים, גשם, שלג ומוקדי סופה. במהלך השנים הבאות פותחו מערכות מכ"ם מזג אוויר המשדרות בספקטרום רחב של אורכי גל ומכ"ם העננים הפך לכלי שימושי למיפוי האזורים הגשומים.

### הלוויין המטאורולוגי

הלוויין הראשון ספוטיניק 1 ששוגר על ידי ברית המועצות בשנת 1957, היה בנוי מכדור מתכת קטן שכלל מצבר, מד טמפרטורה ומשדר רדיו עם מקורד פשוט. השיגור הזה יצר עניין רב ברחבי העולם והיווה תחילת הדרך לכיבוש החלל. התשובה האמריקאית הייתה שיגורו של הלוויין אקספלורר 1 בשנת 1958 שכלל מכשיר למדידת הקרינה הקוסמית. מכאן והלאה החל מרוץ החלל בין שתי המעצמות שבו שוגרו סדרות של לוויינים למטרות תקשורת ותצפית. באפריל 1960 שגרה NASA את הלוויין המטאורולוגי הראשון בסדרת TIROS-TV Infra-Red Observation Satellite שמטרתו הייתה



ל**לוויין טיירוס 1 במעבדות RCA** לבדוק אם ניתן לצפות מהחלל על מזג האוויר המתרחש באטמוספירת כדור הארץ. הלוויין פעל כשלושה חדשים בלבד ובתקופה זו שיגר 20,000 תמונות שהראו את פריסת העננים מעל כדור הארץ. הלוויין טיירוס 1 תוכנן ונבנה עבור נאסא על ידי חברת RCA וכלל שתי מצלמות ושני מכשירי הקלטה לוידיאו. המעטה החיצוני שלו כלל 9,200 תאים סולריים שהטעינו את סוללות הניקל-קדמיום. שידור הנתונים והתמונות לכדור הארץ בוצע על ידי משדרי טלמטריה בתדר 235 מה"ץ בהספק 2 ווט. האנטנה הייתה עשויה מזוג DIPOLES מוצלבים. הלוויין המטאורולוגי TIROS 1 היה הראשון בסדרה זו של עשרה לוויינים שסובכו במסלול קוטבי שסרק את כדור הארץ לאורך קווי האורך. בשנת 1965 המטאורולוגים יצרו לראשונה מפת מזג אוויר גלובלית ששילבה 450 מצילומי ה-TIROS. בשנת 1975 NASA שיגרה לוויין חדש מסוג Geostationary Operational Environmental Satellite ה-GOES, אשר התייצב בנקודה קבועה מעל קו המשווה ואפשר צפייה בקביעות על אותו שטח בכדור הארץ. לווייני מזג האוויר התפתחו ושוכללו ובימינו הם משמשים ככלי בעל חשיבות גדולה להפקת תחזיות וגילוי מוקדם של סופות ציקלון.

הכותב הינו עורך האתר [www.telecom-milestones.com](http://www.telecom-milestones.com)