

תומס אלווה אדיסון – דברי הימים של גדול הממציאים

אברהם אמיר – 4X4FW

המחצית השנייה של המאה התשע עשרה התאפיינה בפריצות דרך משמעותיות בפיתוח טכנולוגיות ומוצרים המבוססים על זרם החשמל. התהליך הזה התבסס על מחקרי היסוד בכימיה, פיסיקה, חשמל ואלקטרומגנטיות שהחלו בסוף המאה השמונה עשרה ונמשכו במאה התשע עשרה. במחצית השנייה של המאה התשע עשרה המציאו את הטלגרף הקווי, הטלפון, נורת החשמל, המנוע והמחולל החשמלי, הפונוגרף הראשון להקלטת קול והראינוע. בין ממציאי תקופה זו בלט במיוחד **תומס אדיסון** במספר המצאותיו ובמהפכה הטכנולוגית שהן יצרו בעולם.

תומס אדיסון נולד בשנת 1847 בעיירה **מילן** במדינת **אוהיו**. בילדותו היה חולני אך כשהתחיל לדבר גילה סקרנות רבה בכל נושא ולא נתן מנוח להוריו ומוריו בשאלות רבות ומביכות. הוריו לא יכלו לענות על כל שאלותיו ותומס הקטן החליט לבצע בעצמו ניסויים למציאת התשובות. בגיל 10 הוא הקים במרתף ביתו מעבדה כימית ולפי דברי אביו, הוא בילה במרתף את רוב זמנו החופשי. המורים בבית הספר התייחסו אליו כתלמיד לא מוצלח, אך אמו שהייתה מורה במקצועה לימדה אותו את כל המקצועות ועודדה אותו להרבות בקריאה ורכישת ידע מלימוד עצמי. בגיל 12 הוא קרא בעיון ספרות קלאסית, היסטוריה ואנציקלופדיות בנושאי מדע. לאדיסון הייתה בעיה בלימוד המתמטיקה ומסיבה זו העדיף לתאר ולפרש תופעות ותהליכים בצורה גראפית ולא חישובית. ליקוי זה ליווה אותו לאורך חייו בכל פעילותו המדעית והעסקית.



כדי לממן את ניסוייו אדיסון עבד כמוכר עיתונים וממתקים לנוסעים בקרונות הרכבת. כשהיה בן 14 הוציא לאור שבועון אותו הדפיס באחד מקרונות הרכבת שעמדו בתחנה בה עבד. חוג הלקוחות הגדול של השבועון אפשר לו הכנסה חודשית ראויה. במסגרת עבודתו מנע את פגיעת הרכבת בילד קטן ששיחק בתוך המסילה. אביו של הילד שהיה מנהל תחנת הרכבת הודה לתומס הצעיר והחליט ללמד אותו להפעיל את מכשירי הטלגרף בתחנה. בגיל 16 הוא קבל משרת מפעיל טלגרף במשמרות הלילה בתחנת הרכבת ובשעות היום המשיך לעבוד במעבדת הניסויים שלו. חוסר השינה הכרוני פגע בתפקודו כמפעיל טלגרף. מעבידיו נאלצו לפטרו כי עיקר עניינו של אדיסון היה "בדיקה וטיפול"

במכשירי הטלגרף ופחות במשימות המוטלות עליו בתחנה. הוא נאלץ להחליף מקומות עבודה רבים ולבסוף היה מחוסר עבודה ומרושש. בשנת 1868 הוא עבר לעבוד כמפעיל טלגרף במשרד הראשי של "ווסטרן יוניון" בבוסטון. בשנה זו אדיסון הגיש את הבקשה לפטנט הראשון שלו עבור מכשיר לרישום הצבעות חברי בית המחוקקים. תהליך אישור הפטנט נמשך זמן רב ולאחר שאושר, הניסיונות לשכנע את אנשי הקונגרס בווינגטון לרכוש את המכשיר עלו בתוהו.

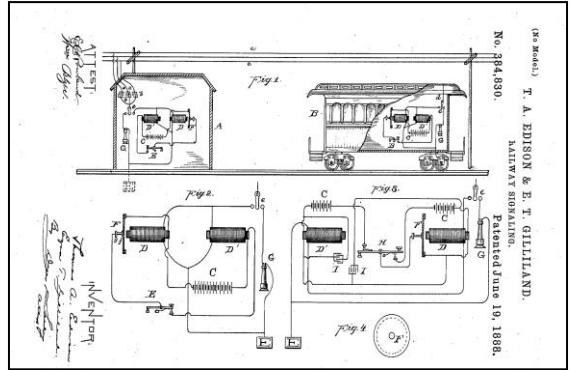
בשנת 1869 אדיסון החליט להקדיש את כל זמנו לפיתוח המצאות והפסיק את עבודתו כמפעיל טלגרף. הוא עבר לניו-יורק, שם עבד בחברה המספקת שירותי טלגרף לענף בורסות ניירות הערך והזהב. בחברה זו באה לבסוף לידי ביטוי יכולתו הטכנית בשיפור הביצועים של הציוד הטלגרפי. בשנת 1870 הוא חתם על הסכם עם החברה בה עבד להקמת בית מלאכה לפיתוח וייצור ציוד טלגרפי. בית המלאכה שימש את אדיסון לפיתוח המצאותיו החדשות. בימים ההם היה בשימוש במשרדי הבורסה והברוקרים מקלט טלגרפי המכונה Stock Ticker אשר הומצא ב-1867 על ידי ג'יימס קלאהאן. המקלט הדפיס בזמן אמיתי על סרט נייר את תוצאות המסחר. אדיסון עבד על שיפורים ב-Stock Ticker ופתר את הבעיות שנוצרו בשידור בו זמנית למספר מקלטים המחוברים לקו. מקור הבעיה היה הצורך בסנכרון סיבוב גלגלי ההדפסה בכל המקלטים לפי קצב הסיבוב בגלגל המסדר. עבור שיפורים אלה נרשמו על שמו של אדיסון מספר פטנטים.

אדיסון ו"הטלגרף האתרי"

בשנת 1874 אדיסון פיתח עבור חברת "ווסטרן יוניון" את מכשיר ה-Quadruplex אשר מאפשר לארבעה מכשירי טלגרף לפעול בו-זמנית על קו אחד (שני מכשירים לכל כיוון). אדיסון ואנשיו המשיכו לעבוד על פיתוח אמצעים להעברת מספר רב של ערוצי טלגרף על קו אחד. הם השתמשו בשיטה הנקראת "טלגרף אקוסטי" בו בכל ערוץ טלגרף שודרו אותות מורס בתדר שמוע שונה. בצד הקליטה חוברו במקביל רטטים תהודתיים שכל אחד מהם הגיב לאותות המורס ששודרו בתדר המיועד אליו.

בשנת 1875 כאשר עובדי חברת אדיסון ערכו ניסויים ב"טלגרף האקוסטי", שמו לב שברטט תהודתי שהיה בקרבת מחולל האותות, הופיעו ניצוצות במגעיו למרות שלא היה כל חיבור חשמלי ביניהם. אדיסון החליט לחקור את התופעה והמשיך בניסויים בהם הצליח לקבל תגובה ברטט במרחק יותר גדול. לאדיסון לא היה הסבר לתופעה זו והוא יחס אותה ל"כוח חשמלי" או "כוח אתרי" שנוצר על ידי הניצוצות במחולל אשר נקלטו במגעיו הרטט ללא העברת מטען חשמלי. הוא האמין שתופעה זו תאפשר בעתיד שיפורים וחסכון בתקשורת הטלגרף והחליט להמשיך לחקור את הנושא. אדיסון חיבר למחולל לוח מתכת גדול ובמרחק גדול חוצב לוח מתכת דומה המחובר לאדמה. הניצוצות שנצפו בלוח המתכת במרחקים של 2-3 מטרים הביאו את אדיסון למסקנה שזו הוכחה לקיומו של "כוח אתרי". ביומן המעבדה שלו משנת 1875 רשם את פרטי הניסוי והתוצאות והכריז על כך בעיתון מקומי ב-Newark. תיאוריה זו לא התקבלה על ידי המדענים הבכירים באותה עת והיו כאלה שייחסו את תוצאות הניסוי של אדיסון לתופעת ההשראה האלקטרומגנטית. למעשה ג'יימס מקסוול חזה את התופעה הזו במחקריו התיאורטיים עוד בשנת 1864 והינריך הרץ הוכיח זאת בניסוייו בשנת 1889.

אדיסון הצליח להגדיל את הטווח בין הנקודות ל-9-6 מטרים, אך למרות זאת חברת "ווסטרן-יוניון" שהייתה הלקוח העיקרי שלו באותו זמן, לא הייתה מעוניינת בהמשך הניסויים האלה ובקשה אותו להמשיך בשיפורים בציוד הטלגרף הקווי. אדיסון ניסח טיוטה לרישום פטנט לתופעה זו, אך לא הגיש אותה בשלב זה. בשנת 1885 אדיסון עבד על פיתוח רעיון חדש לקיים קשר טלגרפי בין תחנת הרכבת אל הקרונות בזמן נסיעה. הוא ביסס זאת על ההשפעה שבין חוטי קו הטלגרף המתוחים לאורך המסילה ללוח מתכת הפרוש על גג הקרון ומחובר למקלט טלגרף בקרון. הוא הצליח לקבל טווח של 150 מטרים והאמין כי ניתן יהיה לנצל תופעה זו לקשר בין ספינות. הוא הגיש בקשה לפטנט אשר אושר בשנת 1891 (בתמונה תרשים שהוגש בבקשה לפטנט). פטנט זה לא מומש, אך לפי דברי עוזרו של אדיסון הוא מכר את זכויותיו למרקוני.



מיקרופון הפחם

שלשה אנשים נפרדים חיפשו אמצעי יותר משופר מהמיקרופון הנוזלי של אלכסנדר בל, להעברת קול על קווי טלגרף. דייוויד יון (אנגליה), אמיל ברלינר (ארה"ב) ותומס אדיסון מצאו כל אחד לחוד את הפתרון, עם גרגירי פחם הלחוצים ע"י ממברנה. יון הציג את הרעיון לראשונה והעניק אותו לציבור מבלי לרשום זכויות פטנט. יון היה הראשון שטבע את המושג "מיקרופון" להמצאתו. ברלינר ואדיסון הגישו כל אחד לחוד בקשה לפטנט, אך הפטנט למיקרופון הפחם נרשם על שמו של אדיסון. הצלחתו של מיקרופון הפחם עלתה על כל המשוער והוא המשיך להיות בשימוש בטלפונים לאורך תקופה שנמשכה מאה שנים.

נורת החשמל

הרעיון של יצירת מקור תאורה באמצעות מוליך חשמלי לוהט קדם לאדיסון, אך המדענים שעסקו בזה לא פתרו את בעיית אורך החיים הקצר מאוד של חוט הלהט. בשנת 1877 צוות העובדים של אדיסון החל בניסויים בנורת חשמל עם נימת סיבי פחם. תהליכי הניסוי וטעייה של הצוות נמשכו זמן רב, סקצת נורת חשמל ביומן המעבדה תוך מאמץ לבחור בשיטות וחומרים מתאימים להבטחת אורך החיים של הנימה. בשנת 1879 הצליחו לייצר נימות בעלות אורך חיים סביר המתאימים לשימוש מסחרי. המעבדה של אדיסון עסקה גם בפיתוח מחוללי זרם ישר ואביזרים להתקנת רשתות תאורה. בערב ראש השנה של 1880 אדיסון ערך את התצוגה הראשונה של תאורה חשמלית לציבור הרחב במתחם המפעל ב-Melno Park. רעיון התאורה החשמלית של אדיסון זכה לתגובות נלהבות בלחוגי המסחר והכלכלה והצלחה זו הובילה את אדיסון לגיוס כוח אדם מקצועי נוסף להקמת מפעל חדש לייצור המוני של נורות חשמל.

בשנת 1881 אדיסון העביר את פעילותו מ-Melno Park לניו-יורק שם הקים מפעלים לייצור רכיבים לתאורת חשמל ותחנות כוח. תחנת הכוח הראשונה של אדיסון הוקמה ברחוב פרל בניו-יורק בספטמבר 1882. תחנה זו ספקה חשמל ותאורה לתושבים בשטח של מייל מרובע והישג זה נחשב לתחילת עידן החשמל בעולם. מכאן והלאה אדיסון היה עסוק רוב זמנו בהקמת מפעלים ליצור תחנות כוח לייצור חשמל בורם ישר ובפריסת רשתות חשמל ברחבי ארה"ב ובמספר ארצות באירופה. בשנת 1888 חברת החשמל של אדיסון הייתה מעורבת ב"מלחמת הזרמים" בינה לבין חברת ווסטינגהאוז. אדיסון כפר בבטיחות זרם החילופין בו פעלו רשתות החשמל של חברת ווסטינגהאוז לפי שיטתו של ניקולה טסלה. אנשי חברת אדיסון ניסו להציג הוכחות לכך שהתבססו על ניסויי מעבדה בהם חשמלו בעלי חיים. בשנת 1892 חברת החשמל של אדיסון וחברת Thomson-Houston התמזגו בתוך חברת "ג'נרל אלקטריק". אדיסון עזב את עסקי תאורת החשמל ובעשור הבא התמסר לפעילות בפיתוח שיטות חדשות בתהליך הפקת ברזל בעלות נמוכה לשימוש בבתי ציקה. פעילות זו נכשלה כאשר נתגלו מכרות עם עפרות בעלות תכולת ברזל עשירה מאוד.

בשנת 1893 זכתה חברת ווסטינגהאוז במכרז להתקנת מערכת תאורה חשמלית בורם חילופין לפי שיטתו של ניקולה טסלה בתערוכת יובל הארבע מאות שנים לגילוי אמריקה בשיאגו. המתחרה העיקרית במכרז הייתה חברת ג'נרל אלקטריק עם שיטת הזרם הישר של אדיסון. בעקבות הצלחה זו, חברת ווסטינגהאוז זכתה במכרז הענק להקמת תחנת הכוח החשמלית במפלי הניאגרה. חברת ג'נרל אלקטריק נאלצה להודות בכך ששיטת זרם החילופין היא הטובה ביותר והמירה את השיטה ברשתות החשמל שלה לזרם חילופין.

שפופרת הריק

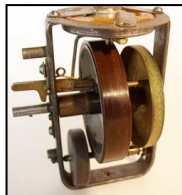
במהלך המחקר להארכת אורך החיים של נורות התאורה, אדיסון הציב ליד חוט הלהט בתוך שפופרת הזכוכית הריקה מאוויר לוח מתכת המחובר למקור מתח. הוא שם לב לכך שכאשר מתח הלוח חיובי ביחס למתח חוט הלהט, נוצר זרם בין חוט הלהט ללוח המתכת. תופעה זו כונתה "תופעת אדיסון" והיא נרשמה כפטנט בשנת 1884 בשם "Electric Voltmeter". לא היה שום שימוש מעשי בפטנט הזה עד שנת 1904. בשנה זו John Fleming (שהיה בעבר עוזרו של אדיסון) עבד על שיפור מעגלי הקליטה בטלגרף האלחוטי ומצא ש"תופעת אדיסון" ניתנת לשימוש כגלאי לאותות אלחוטי. הניסויים שלו גילו גם שהנורה עם לוח המתכת מסוגלת להפוך זרם חילופין לזרם ישר וג'ון פלמינג רשם על כך פטנטים בארה"ב ובאנגליה. צעדו הראשון של אדיסון חולל (ללא ידיעתו) את המהפכה ההיסטורית שהביאה לעידן האלקטרוניקה במאה העשרים.

הפנוגרף

ההמצאה החביבה ביותר על אדיסון הייתה ה"פנוגרף". הוא הציג את הרעיון לראשונה בשנת 1877, אך הזניח אותו לטובת פיתוח ויישום תאורת החשמל שהעסיקה את מפעליו תקופה ארוכה. ב-1895 המשיכו את שכלול ה"פנוגרף" במעבדות במטרה לייצר דגם לשיווק המוני וב-1896 הוצג לראשונה הפנוגרף הביתי המופעל על ידי קפיץ במחיר לכל נפש. הפנוגרף הראשון של אדיסון בו תנודות הקול נחרצו על גבי גלילי אבק, הפך ללהיט מסחרי שתרם להכנסות חברתו במשך שנים רבות. מפעלי הפנוגרף של אדיסון יצרו את כל המרכיבים הדרושים ואת גלילי ההקלטה. הם הפיקו וייצרו גלילים מוקלטים במוסיקה לקידום השיווק של הפנוגרפים. במתחם מפעלי אדיסון הוקם מפעל מיוחד לייצור מוצר נוסף המבוסס על מנגנון הפנוגרף – "בובות מדברות".



מנגנון הפנוגרף בכובה המדרכת



אדיסון מדגים את האב-טיפוס – 1878

הראינוע

אדיסון הגה את הרעיון שמה שהפנוגרף עושה לחוש השמיעה, ניתן לעשות לחוש הראיה. לצורך זה פיתח מכשיר צילום לתמונות נעות על סרט צילום ומכשיר להקרנת התמונות הנעות. בגמר הפיתוח הראשוני הוא "הגל" דצמבר 2016

הציג בשנת 1891 את האב-טיפוס של ה"קינסקופ" והגיש בקשה לפטנט עבור המצאה זו. כעבור שנתיים, הפטנט אושר והוקם מערך לייצור מסחרי של מצלמות ומקרנים לראינוע. לקידום השיווק אדיסון החל בהפקת סרטי ראינוע ובסוף המאה ענף זה שגשג למימדים כאלה שהפכו אותו במהרה לתעשייה השלישית בארצות הברית. התחרות העצומה בענף הראינוע גרמה לכך שחברת אדיסון יצאה ממנו בשנת 1918.

מצבר האלקליין

האתגר הבא של אדיסון היה פיתוח מצבר לשימוש במכוניות חשמליות. הוא היה חובב מכוניות נלהב וברשותו היה מבחר מכוניות הפועלות באמצעות מנוע קיטור, מנוע הבעירה הפנימית (בנזין) ומנוע חשמלי. דעתו הייתה ששיטת ההנעה האידיאלית למכוניות היא המנוע החשמלי. מאידך, הוא היה ער לעובדה שמצברי תחמוצת-עופרת הנהוגים לא מתאימים למשימה זו. בשנת 1899 אדיסון החל בעבודות פיתוח של מצבר אלקליין חדש שנמשכו תוך קשיים רבים כעשר שנים. כשמצבר האלקליין המעשי של אדיסון הוצג לתעשיית המכוניות ב-1910, הסתבר שהמכוניות עם מנועי הבנזין שוכללו ושופרו מאוד על ידי היצרנים וההתעניינות במכוניות חשמליות פחותה מאוד. למרות זאת, מצברי האלקליין של אדיסון נכנסו לשימוש במערכות תאורה ואיתות במסילות ברזל ורכבות, מצופי ניווט ימיים ופנסי תאורה במכרות. מצברי האלקליין של אדיסון הניבו רווחים גדולים והניסיון שנרכש במהלך השנים תרם לפיתוח הדורות החדשים של מצברי אלקליין.



אדיסון ליד מכונית חשמלית - 1911

בשנת 1915 אדיסון התבקש על ידי צי ארה"ב לעמוד בראש ועדה מייעצת, לקראת הצטרפותה של ארצות הברית למלחמה העולמית באירופה. זה היה ניסיון לקבץ ולארגן את כישורונותיהם של המדענים והממציאים המובילים, לטובת הכוחות המזוינים. תרומתה של הועדה לא הייתה משמעותית לניצחון במלחמה זו, אך היוותה תקדים חשוב לשתוף פעולה בין אנשי מדע וממציאים לבין הצבא בשנים הבאות. לקראת סוף המלחמה אדיסון בילה מספר חודשים על ספינת צי מושאלת במחקר וניסויים בטכניקות לגילוי צוללות.

בשנת 1927 אדיסון התבקש על ידי שני חבריו הותיקים הנרי פורד – יצרן המכוניות והרווי פיירסטון – יצרן הצמיגים, למצוא מקור חדש לגומי הדרוש לתעשיית הצמיגים. חומר הגלם הנהוג היה גומי טבעי שיובא מארצות בהם גדל עץ הגומי. מחירי הגומי הטבעי הלכו וגדלו ובמיוחד בתקופות מלחמה. אדיסון חפש מקור טבעי אחר והתמקד בצמח "שרביט הזהב" Goldenrod שתכולת הגומי בו היא 12 אחוזים. פורד השקיע במוסדות מחקר שעסקו בפיתוח ויישום תעשייתי של הצמח הזה וצמחים אחרים. הפקת הגומי מצמח שרביט הזהב הוכחה לבסוף כלא כדאית, כשהתברר כי מקדם הצמיגות של הגומי המופק ממנו נמוך מאוד בהשוואה לגומי הטבעי המסורתי. נושא זה העסיק את אדיסון עד יום מותו ב-18.10.1931. ביום קבורתו כבו אורות החשמל במשך דקה אחת בכל רחבי ארצות הברית.

הפטנטים שנרשמו על שמו של אדיסון

אדיסון החזיק בשיא של מספר הפטנטים שנרשמו על שם אחד בארצות הברית במשך שנים רבות לאחר מותו. שיאו של אדיסון נשבר לבסוף רק בשנת 2003 על ידי ממציא יפני. המספר הכולל של הפטנטים שנרשמו על שם אדיסון בכל העולם הוא 2,332, מהם 1,093 בארצות הברית. בטבלה מוצגת ההתפלגות של מספר הפטנטים לפי נושאי ההמצאות.

180	טלגרף וטלפון
424	תאורה חשמלית
199	פונוגרפים והקלטת קול
9	ראינוע
53	תעשיית המכרות
147	מצברים
49	תעשיית המלט
50	שונות

במהלך חייו הוענקו לאדיסון אותות כבוד ותעודות הוקרה רבות ממוסדות שונים בארצות הברית ומכל העולם. על שמו של אדיסון נקראו שמות של מקומות, מוסדות השכלה גבוהה ומחקר, מוזיאונים ואנדרטאות. "מדלית אדיסון" נוצרה בשנת 1906 על ידי איגוד מהנדסי החשמל בארצות הברית (שהפכה בהמשך ל-IEEE). הכותב הינו עורך האתר www.telecom-milestones.com