

קונטרס הסבר והדרכה: סימולטור "בריאות הסוללה (SOH) " למערכות חשמל שבת



"זכה דורנו" – פתח דבר

בעזרת השי"ת, זכה דורנו שנתפתחו דרכים חדשות, ומחקרים כבירים בתחום אגירת האנרגיה והמצברים (LiFePO₄) הועמדו לשירות שומרי השבת. טכנולוגיה זו מאפשרת לקיים מצוות "עונג שבת" כהלכתה, באור בהיר וביישוב הדעת, ללא תלות בזרם חברת החשמל.

מעלת סוללות הליתיום (LFP) על פני סוללות העופרת: בניגוד לסוללות העופרת-חומצה הישנות, שהיו כבדות, דורשות תחזוקה רבה ומתבלות במהירות (בפרט בפריקה עמוקה), סוללות הליתיום שבפנינו הן בבחינת "כלי מפואר":

- **אריכות ימים:** הן מסוגלות למחזורי פריקה וטעינה רבים פי כמה.
- **ניצול מלא:** ניתן להשתמש ברוב הקיבולת ללא נזק מייד.
- **בטיחות:** כימיית ה-LFP יציבה ובטוחה יותר לשימוש ביתי.

אמנם, ככל שהכלי יקר ומשוכלל יותר, כך גדלה האחריות המוטלת על המשתמש לשמור על "בריאותו", כדי שלא להפסיד ממון רב בבלאי מוקדם של התאים. הסימולטור שלפניכם נועד להדריך אתכם בהנהגה נכונה זו.

א. הבחנה יסודית: "מצב טעינה" לעומת "מצב בריאות"

לפני שנבוא אל מלאכת המחשבו, יש להבין חילוק מרכזי בין שני מושגים:

1. **מצב טעינה (SOC):** הוא כמות ה"חשמל" המצויה בסוללה ברגע זה (כעין מד דלק). גם בסוללה ישנה מאוד המד יראה 100% בסיום הטעינה.
 2. **מצב בריאות (SOH):** הוא גודל ה"כלי" עצמו. עם השנים והשימוש, הסוללה נשחקת והקיבולת המקסימלית שלה קטנה. הסימולטור שלפנינו עוסק בחיזוי מצב הבריאות, דהיינו כמה שנים יחזיק ה"כלי" מעמד בטרם יתבלה.
- עצה למעשה:** המשתמש יכול לחפש בצג המערכת או בתוכנת הניהול (BMS) את הערך SOH (המופיע באחוזים) או את הערך FCC (- Full Charge Capacity המופיע באמפר-שעה). נתונים אלו יגלו לכם כמה "נפגעה" הסוללה מהמצב המקורי שלה ביום הקנייה.

ב. ביאור חלקי מסך הסימולטור:

הסימולטור בנוי מארבעה חלקים עיקריים המשתקפים לפניכם:

1. חלון הזנת הנתונים (מלבן הקלט):

עפולה	עיר
חדר מדרגות	מיקום הסוללות
45.000 Kwh	קיבולת הסוללות (קוט"ש)
51.2 V	מתח הסוללות (וולט)
30 A	זרם טעינה
20%	יתרת סוללות במוצ"ש
לפני שבת	התחלת טעינה
32 שעות	משך טעינה לפני שבת

כאן המקום בו עליכם להזין את נתוני המערכת שלכם. לכל נתון יש השפעה ישירה על אורך החיים:

- **עיר המגורים ומיקום הסוללות:** נתון זה קובע את עומס החום. סוללה המונחת בארון מתכת בשמש בערים חמות, תתבלה ותישחק במהירות רבה יותר מסוללה הנמצאת בתוך הבית במקום ממוזג.
- **קיבולת הסוללות (קוט"ש):** כאן עליכם להזין את המספר המופיע על גבי המארז המציין את גודל האגירה ביחידות של kWh (קוט"ש). למשל, אם המצבר הוא של 10 או 15 קוט"ש, זה המספר שיש לכתוב. נתון זה מאפשר למחשבון לדעת כמה כוח יש בסוללה וכמה היא "מתאמצת" בזמן השימוש.

- **מתח הסוללות (וולט):** עליכם להזין את המתח הנומינלי. ברוב הסוללות הנפוצות כיום המתח הוא V51.2 (המייצג 16 תאים בטור), נתון זה מופיע בדרך כלל במפרט המצבר או על המדבקה שעל גביו. בחירה נכונה קריטית לדיוק החישוב.
- **זרם טעינה (אמפר):** עליכם להזין את המספר שהגדרתם במכשיר הממיר (האינוורטר) תחת הגדרת "זרם טעינה" (Charging Current). זהו הערך הקובע באיזו מהירות ובאיזה חוזק הממיר דוחף את החשמל חזרה לסוללה. טעינה בזרם גבוה מדי עלולה לחמם את התאים ולגרום לשחיקה מיותרת.
- **יתרת סוללות במוצ"ש:** כמה אחוזי חשמל נשארו בסוללה ברגע שסיימתם להשתמש בה במוצאי שבת. ככל שהסוללה נשארת ריקה יותר, הלחץ הפנימי על התאים גובר.
- **תזמון הטעינה (לפני שבת/מוצ"ש):** זהו פרמטר גורלי. שהייה ממושכת במצב של 100% טעינה לאורך כל השבוע היא "הרוצח השקט" של הסוללות, שכן המתח הגבוה מאיץ תהליכים כימיים של שחיקה. מאידך, יש צורך מסוים בשהייה ב-100% לצורך איזון (כדלהלן), ולכן הנהגה נכונה היא טעינה בסמוך לכניסת השבת, תוך השארת זמן לאיזון התאים.

2. טבלת "נזק אקלימי חודשי":

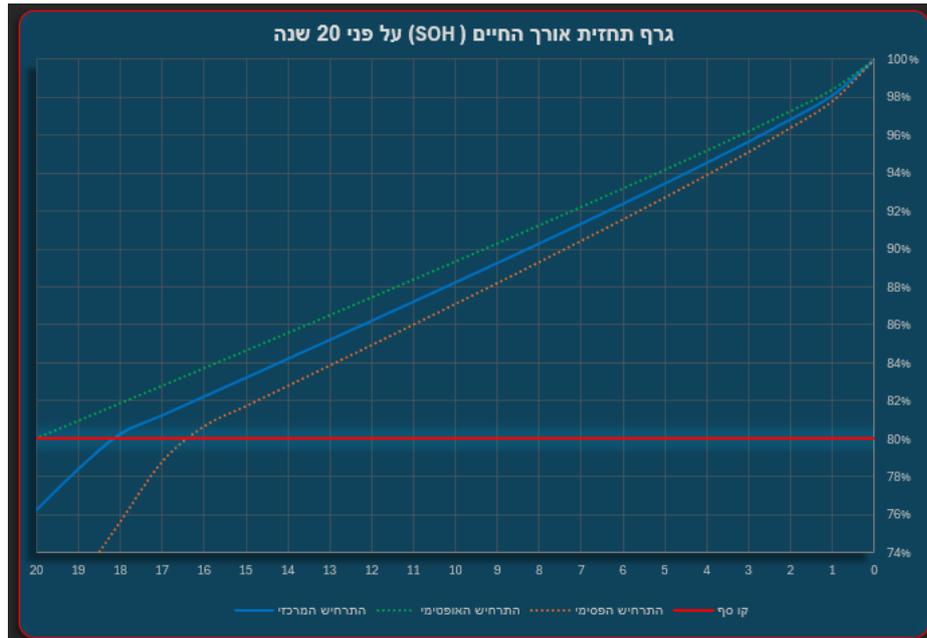
נזק אקלימי חודשי - עפולה						
חדש	טמפ' לילה	טמפ' יום	חימום מבנה	טמפ' יום אפקטיבית	נזק משוקלל לחודש	בקרת טמפרטורת סף
1	6.5°C	17.5°C	-1.0°C	16.5°C	0.35	17.2°C
2	7.0°C	18.8°C	-1.0°C	17.8°C	0.38	18.5°C
3	8.8°C	22.2°C	-1.0°C	21.2°C	0.48	21.9°C
4	11.8°C	27.2°C	-1.0°C	26.2°C	0.73	36.9°C
5	15.2°C	31.5°C	-3.0°C	28.5°C	0.89	39.2°C
6	18.5°C	33.8°C	-3.0°C	30.8°C	1.08	41.5°C
7	21.2°C	35.5°C	-3.0°C	32.5°C	1.16	38.2°C
8	21.8°C	35.8°C	-3.0°C	32.8°C	1.17	38.5°C
9	19.5°C	33.8°C	-3.0°C	30.8°C	1.03	41.5°C
10	16.5°C	30.2°C	-3.0°C	27.2°C	0.79	37.9°C
11	12.2°C	24.8°C	-1.0°C	23.8°C	0.56	24.5°C
12	8.5°C	19.5°C	-1.0°C	18.5°C	0.40	19.2°C

לוח זה מציג תחזית ל-12 חודשי השנה, ובוחן האם הסוללה תתחמם יתר על המידה (שקלול של חום הסביבה, שרב וחום הנוצר מעצם הטעינה והפריקה).

שימו לב לעמודה "בקרת טמפרטורת סף" (צד שמאל):

- **צבע כתום (מעל 45°):** התרעה על חום גבוה המאיץ את השחיקה ועלול להוביל לירידה בביצועים.
- **צבע אדום (מעל 60°):** מצב סכנה. בטמפרטורה זו מערכת ההגנה (BMS) עלולה לנתק את זרם החשמל כדי למנוע נזק או דליקה.

3. הגרף המרכזי - גרף תחזית אורך החיים (SOH):



הגרף מציג את דעיכת הקיבולת הכימית לאורך 20 שנה בשלושה תרחישים: מרכזי – כחול (הסביר ביותר), אופטימי – ירוק (בתנאים מעולים) ופסימי – כתום.

4. טבלת התרחישים עם פס הגלילה:

שנה	תרחיש מרכזי	תרחיש אופטימי	תרחיש פסימי
10	39.7 Kwh 88.3%	40.2 Kwh 89.3%	39.2 Kwh 87.1%
11	39.3 Kwh 87.2%	39.8 Kwh 88.4%	38.7 Kwh 86.0%
12	38.8 Kwh 86.2%	39.4 Kwh 87.4%	38.2 Kwh 84.9%
13	38.4 Kwh 85.2%	38.9 Kwh 86.5%	37.7 Kwh 83.9%
14	37.9 Kwh 84.2%	38.5 Kwh 85.6%	37.3 Kwh 82.8%
15	37.5 Kwh 83.2%	38.1 Kwh 84.6%	36.8 Kwh 81.7%
16	37.0 Kwh 82.2%	37.7 Kwh 83.7%	36.3 Kwh 80.7%
17	36.6 Kwh 81.3%	37.3 Kwh 82.8%	35.9 Kwh 79.8%
18	36.1 Kwh 80.3%	36.8 Kwh 81.9%	34.0 Kwh 75.6%
19	35.3 Kwh 78.4%	36.4 Kwh 80.9%	32.6 Kwh 72.4%

שנת חיים: 16 20 18

מתחת לגרף תמצאו טבלה נגללת של אחוז הקיבולת (SOH) וכמות הקוט"ש (FCC) לכל שנה, עם סיכום "שנות החיים" החזויות לכל תרחיש. בצד הטבלה קיים פס גלילה אנכי המאפשר לכם לעבור שנה אחר שנה (מ-0 ועד 25) ולראות את אחוז הקיבולת המדויק שנותר בסוללה בכל שלב.

ג. דגשים טכניים והגדרות בממיר

כדי שהתחזית תהיה מדויקת והסוללה תאריך ימים, יש להקפיד על הגדרות נכונות בממיר (Inverter):

- **מלאכת איזון התאים (Balancing):** הסוללה זקוקה לשהייה ב-100% טעינה למשך זמן מה בכל שבוע. רק אז מנגנון האיזון "מיישר קו" בין התאים. ללא שהייה זו, הקיבולת לניצול בפועל תרד משמעותית, וכן אחוז הסוללות המוצג לא יהיה מדויק. הסימולטור יתריע אם זמן הטעינה או זרם הטעינה שהזנת אינם מספיקים לצורך איזון זה.

- **הגדרת זרם טעינה בממיר:** באופן כללי, הנהגה נכונה היא להטעין את הסוללות בזרם נמוך סביב 0.1C, דהיינו עשירית מקיבולת הסוללה, (טעינה איטית מפחיתה את התחממות התאים ושומרת על המבנה הכימי הפנימי).
- **זהירות מהצינה ומהקור:** יש להקפיד על כך במיוחד באזורים קרים (ירושלים, צפת וכו'). כאשר טמפרטורת הסוללה מתחת ל-10°C, חובה להגביל את זרם הטעינה לכל היותר לעשירית מקיבולת הסוללה.
- **סכנת קיפאון:** בטמפרטורה של 0 מעלות ומטה (מינוס) - אין להטעין כלל! טעינה בקור כזה גורמת להיווצרות שכבת ליתיום מתכתי על האנודה (Lithium Plating), מה שיוצר נזק בלתי הפיך וחשש סכנה. במקרה זה, חלק ממנהלי ה-BMS ינתקו את הסוללה בעצמם בטמפרטורת מינוס כדי להגן עליה.

ד. סייגים למודל החיזוי חשוב לדעת כי הסימולטור מתמקד בכימיה של התאים, אך קיימים משתנים חיצוניים:

1. **ירידה באיזון התאים:** ככל שעוברות השנים, יכולת האיזון של התאים הולכת ונחלשת. בשל כך, הקיבולת המעשית לניצול עלולה לרדת אף יותר ממה שמראה הגרף, שכן התאים "בורחים" זה מזה והמערכת מתנתקת מוקדם יותר.
2. **מצב הסוללה בעת הקנייה:** לא כל סוללה חדשה היא ב-100%. השהות מזמן הייצור והובלה ימית בתנאי חום לא מבוקרים עלולים לגרום לירידה בקיבולת עוד לפני השימוש הראשון. מאידך, יש יצרנים המעניקים "תוספת" קיבולת מעבר למוצהר במפרט.
3. **בלאי אלקטרוני:** קבלים, כרטיסי BMS או רכיבים אלקטרוניים אחרים עלולים להתקלקל עם השנים מסיבות שאינן קשורות לכימיה של הסוללה, ולקצר את אורך חיי המערכת בפועל ל-10-15 שנים. הקפדה על מיקום הסוללות בתנאי קרירות ויובש, תאט את הבלאי של רכיבים אלו.

סיכום והמלצה

אנו ממליצים לכל משתמש "לשחק" בפרמטרים השונים במחשבון – לשנות את מיקום הסוללה או את זמן הטעינה – ולראות במו עיניו כיצד שינוי בהנהגה יכול להוסיף שנים רבות של שימוש במערכת.

יהי רצון שיזכו כל שומרי השבת לענגה כראוי מתוך יישוב הדעת ושפע של אורה.