

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی

دانشگاه تبریز

آزمایشگاه تحقیقاتی سیستم‌های هوشمند انرژی

اسفند ۱۳۹۴

چشم‌انداز

۲	۱ مقدمه
۴	۲ مدل ریاضی ۱
۱۶	۳ مدل ریاضی ۲
۲۵	۴ اثرات زیست محیطی
۲۷	۵ نتایج

مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج



مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

۱ مقدمه

۱.۱ نقاط مثبت استفاده از ذخیره‌سازها

مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

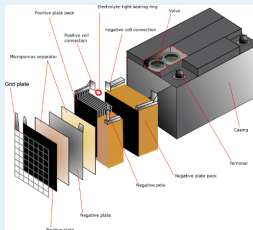
نتایج

در سطح سیستم‌های انتقال کشور، استفاده از ذخیره‌سازهایی با مقیاس بزرگ به تعادل سیستم در شرایط وجود نیروگاه‌های بادی بزرگ کمک می‌کند.

در سطح شبکه‌های توزیع محلی مدیریت هوشمندانه باتری خودروهای الکتریکی منجر به استفاده طولانی از امکانات شبکه و اجتناب از هزینه‌های اضافی می‌شود.

در سطح خانگی استفاده از باتری در سیستم‌های متصل به شبکه PV به منظور حداقل سازی توان دریافتی و ارسالی به شبکه ارائه شده اند.

باتری‌های Lead Acid



- مرسوم‌ترین ذخیره‌ساز از دسته باتری‌ها به شمار می‌رود.
- تکنولوژی این باتری‌ها به بلوغ خود رسیده است.
- در رنج‌های وسیع توانی محیا می‌باشد.
- در میان دیگر ذخیره‌سازها کمترین هزینه اولیه را دارا می‌باشد.



مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

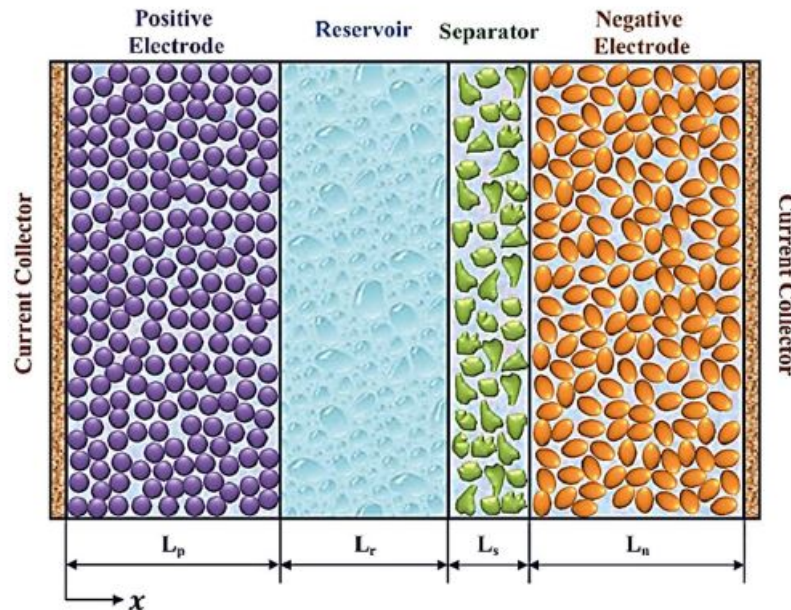
اثرات زیست
محیطی

نتایج

۲ مدل ریاضی ۱

معرفی اجزا مدل

یک سل از باتری سرب- اسید از نواحی مختلفی تشکیل شده است که عبارتند از جمع کننده جریان که در مرکز الکتروود مثبت قرار دارد، الکتروود مثبت PbO_2 محفظه الکتروولیت، جدا کننده، الکتروود منفی Pb و جمع کننده جریان که در مرکز قطب منفی قرار دارد.



مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج



مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

معرفی اجزا مدل

محفظه الکترولیت در واقع یک محیط رسانای یونی است به طوری که یون‌ها از طریق آن بین دو الکتروود انتقال می‌یابند یکی از اجزا مهم در باتری سرب - اسید جدا کننده است که در واقع دو نقش مهم و اساسی را در باتری ایفا می‌کند. اولاً به عنوان یک مانع بین دو الکتروود مثبت و منفی قرار دارد و از تماس آن‌ها در نتیجه ایجاد اتصال کوتاه در باتری جلوگیری می‌کند. دوماً یک محیط متخلخل بوده و به یون‌های مثبت و منفی اجازه انتقال می‌دهد.

الکتروودهای مثبت و منفی علاوه بر این که رسانای الکتریکی بسیار خوبی هستند به صورت متخلخل ساخته می‌شوند به طوری که اسید سولفوریک بتواند به راحتی در منافذ آن‌ها جهت انجام واکنش‌های شیمیایی نفوذ کند.



۱.۲ واکنش‌های شیمیایی

مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

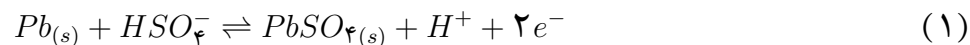
اثرات زیست
محیطی

نتایج

در باتری سرب اسید طی فرایندهای تخلیه و شارژ دو نیم واکنش به صورت جداگانه در در الکترودهای مثبت و

منفی انجام می‌شود

الکتروود منفی



الکتروود مثبت



در طی فرایند تخلیه، در الکتروود منفی واکنش اکسیداسیون رخ داده و سرب به سولفات سرب اکسید شده و الکترون آزاد می‌شود

در الکتروود مثبت به دلیل وجود الکترون‌هایی که از طریق مدار خارجی به این الکتروود انتقال یافته‌اند واکنش احیا رخ می‌دهد که در نتیجه آن، اکسید سرب نیز به سولفات سرب تبدیل می‌شود.

تبدیل مواد سازنده الکترون‌ها به سولفات سرب، منجر به تغییر در تخلخل الکتروودها می‌گردد که این نیز به نوبه خود تاثیر چشمگیری در خواص فیزیکی باتری می‌گذارد.



۲.۲ معادلات حاکم

مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

در یک سلول از باتری سرب اسید بخشی از چگالی جریان از طریق رسانش الکتریکی در الکتروود و بخشی از طریق رسانش یونی در الکتروولیت انتقال می‌یابد.

$$i = i_s + i_l \quad (۳)$$

چگالی جریان در الکتروود از قانون اهم تبعیت می‌کند در نتیجه گرادیان پتانسیل الکتریکی در فاز جامد به صورت ۴ ارتباط پیدا می‌کند.

$$i_s = -\sigma^{eff} \nabla \phi_s \quad (۴)$$

چگالی جریان در الکتروولیت را به صورت ۵ بیان کرد.

$$i_l = -k^{eff} \nabla \phi_e - k_D^{eff} \nabla (Inc) \quad (۵)$$

که در روابط ۵ و ۴ هر یک از پارامترهای σ^{eff} و k^{eff} و k_D^{eff} به ترتیب رسانایی موثر در الکتروود، رسانایی موثر در الکتروولیت و رسانایی نفوذ موثر هستند.



مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

پارامترهای σ^{eff} و k^{eff} و k_D^{eff} به شدت تابعی از تخلخل و ساختار الکترودها هستند. در محاسبات مقدار موثر این پارامترها که به صورت زیر نشان داده شده اند مشخص می‌گردند.

$$\sigma^{eff} = \sigma(1 - \epsilon)^{ex} \quad (۶)$$

$$k^{eff} = k\epsilon^{ex} \quad (۷)$$

$$k_D^{eff} = k_D\epsilon^{ex} \quad (۸)$$

ex یک ثابت تجربی است که بیانگر ساختار حفره های الکترودها است.



مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

دیورژانس چگالی جریان در تمام سل‌های باتری صفر است. بنابراین

$$\nabla \cdot i = \nabla \cdot i_l + \nabla \cdot i_s = 0 \quad (9)$$

شار جریان تولید شده از واکنش‌های الکتروشیمیایی بین مواد فعال و الکتrolیت برابر است با

$$\nabla \cdot i_l = A_j \quad (10)$$

معادلات بقای بار الکتریکی

$$\nabla \cdot (\sigma^{eff} \nabla \phi_s) = A_j \quad (11)$$

$$\nabla \cdot (k^{eff} \nabla \phi_e) + \nabla \cdot (k_D^{eff} \nabla \ln c) = -A_j \quad (12)$$



مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

از برقراری تعادل جرمی می‌توان به معادله بقای گونه‌های شیمیایی دست یافت

معادله بقای گونه‌های شیمیایی

$$\frac{\partial \epsilon c}{\partial t} = \nabla \cdot (D^{eff} \frac{dc}{dt}) + a_2 \frac{A_j}{2F} \quad (13)$$

a_2 نشان دهنده نرخ تولید یا مصرف یون می‌باشد.

در الکتروود مثبت به صورت $a_2 = 3 - 2t^+$ و در الکتروود منفی به صورت $a_2 = 1 - 2t^+$ محاسبه می‌گردد.



مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست محیطی

نتایج

تغییرات تخلخل الکترودها با زمان به صورت رابطه ۱۴ محاسبه می‌شود. ضریب a_1 نشان دهنده تغییرات مولی مواد فعال است که در الکترودهای مثبت و منفی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\frac{\partial \epsilon_e}{\partial t} = -\frac{\partial \epsilon_s}{\partial t} = a_1 \frac{A_j}{2F} \quad (14)$$

الکتروده مثبت

$$a_1 = \left(\frac{M_{PbSO_4}}{\rho_{PbSO_4}} - \frac{M_{PbO_2}}{\rho_{PbO_2}} \right) \quad (15)$$

الکتروده منفی

$$a_1 = -\left(\frac{M_{PbSO_4}}{\rho_{PbSO_4}} - \frac{M_{Pb}}{\rho_{Pb}} \right) \quad (16)$$



مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

همچنین A نشان‌دهنده سطح فعال واکنش است. و در واقع سطحی است که با الکترولیت در تماس بوده و در واکنش شرکت می‌کند.

در حین فرایند تخلیه، سطح فعال کم شده و مواد فعال به سولفات سرب تبدیل می‌شوند. سطح فعال واکنش در هر لحظه به وضعیت شارژ و ساختار کریستالی الکترودها وابسته است.

فرایند تخلیه

$$A = A_{max}SOC^{\zeta} \quad (۱۷)$$

فرایند شارژ

$$A = A_{max}(1 - SOC^{\zeta}) \quad (۱۸)$$



مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

رابطه SOC نشان دهنده میزان مواد فعال باقی مانده در هر الکتروود نسبت به حالت شارژ کامل یا تخلیه کامل می‌باشد.

رابطه SOC

$$\frac{\partial SOC}{\partial t} = \pm \frac{\nabla \cdot i_l}{Q_{max}}$$

(۱۹)



۳.۲ شرایط اولیه و مرزی مناسب

مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

برای حل دستگاه معادلات حاکم، بایستی شرایط مرزی و شرایط اولیه مناسبی را با توجه به فیزیک مساله تعیین کرد.

شرط اولیه مناسب برای غلظت اسید سولفوریک دادن مقدار اولیه به آن می‌باشد. و با حل معادلات ۱۰ و ۱۱ دیگر شرایط اولیه نیز به دست می‌آید.

معمولا شرایط تقارن به عنوان شرایط مرزی منظور می‌گردد. یعنی قسمت مثبت الکتروود دارای ولتاژ مثبت و قسمت منفی دارای ولتاژ صفر است.



مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

۳ مدل ریاضی ۲



مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

اجزا مدل شده

ویژگی‌های مدل

از باتری‌های سرب اسید برای اتصال شبکه‌های خانگی PV به شبکه توزیع استفاده می‌شود. تاثیر اقتصادی باتری‌های سرب اسید بر روی قراردادهای همکاری هر یک از واحدهای خانگی بررسی می‌شود.

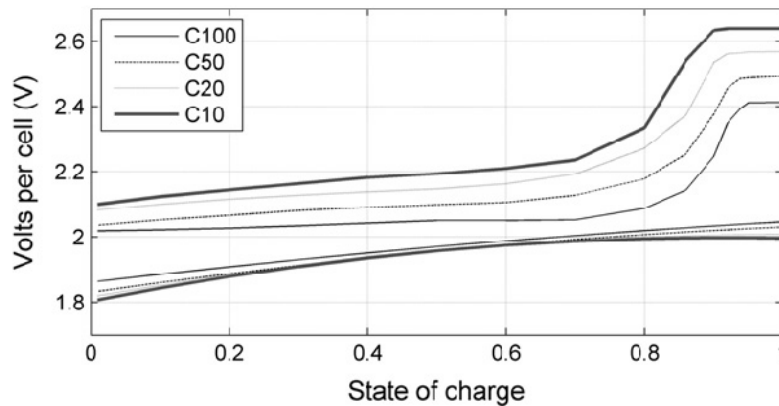
تاثیرات زیست محیطی استفاده از باتری اشاره می‌گردد.



مدل ۱.۳

ولتاژ شارژ و دشارژ باتری

در شکل ولتاژ سلول باتری به عنوان تابعی از حالت شارژ برای نرخ‌های متفاوتی از شارژ و دشارژ نشان داده شده است.



$$C = \frac{C_{nominal}}{n} \quad (20)$$

جایی که n زمانی تخلیه بر حسب ساعت می‌باشد.

آزمایشگاه تحقیقاتی سیستم‌های هوشمند انرژی

مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج



مقدمه

مدل ریاضی ۱

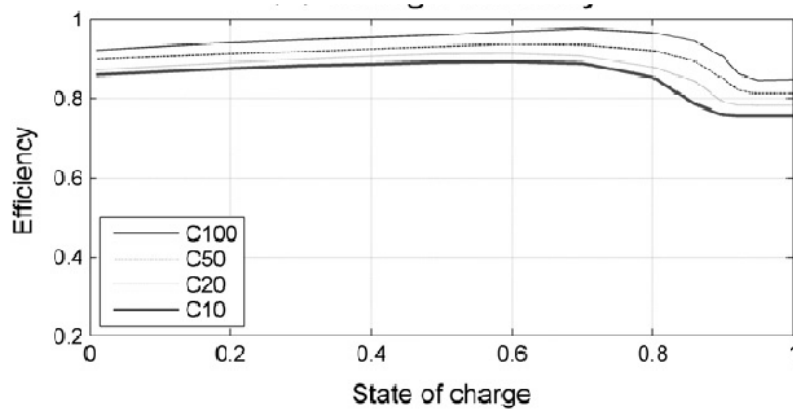
مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

راندمان ولتاژ

در شکل راندمان ولتاژ نشان داده شده است.





مقدمه

مدل ریاضی ۱

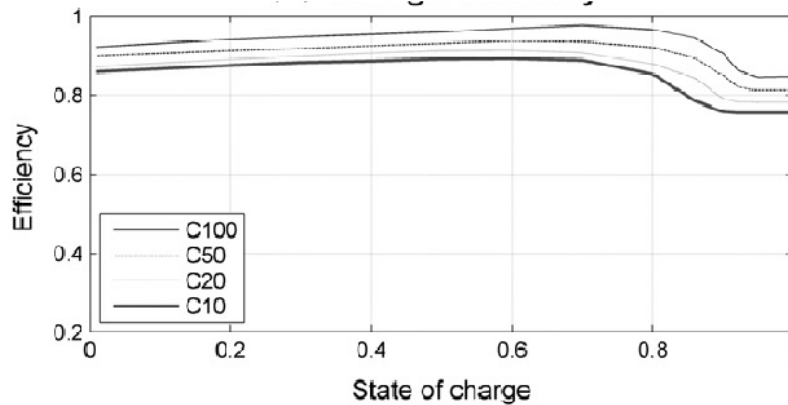
مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

راندمان ولتاژ

در شکل راندمان ولتاژ نشان داده شده است.





۲.۳ بیان ریاضی مساله

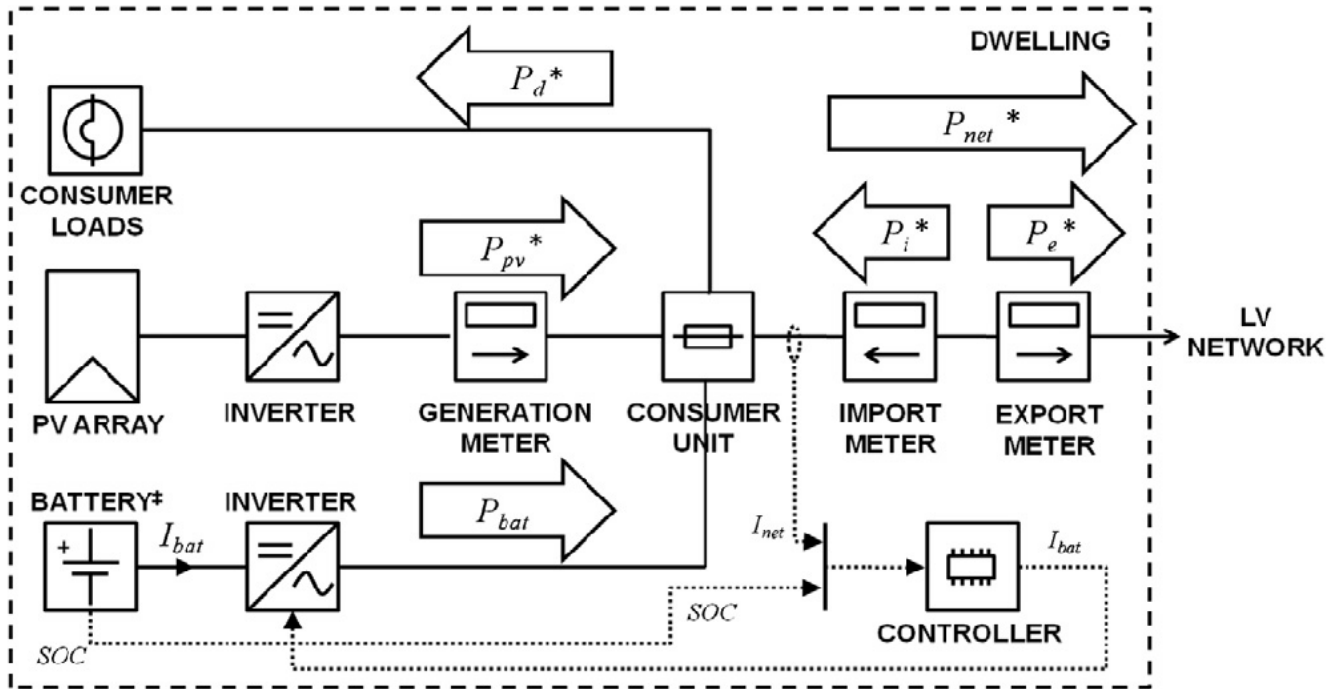
مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست محیطی

نتایج





مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

Variable	Description
P_{pv}	PV generation (kW)
P_e	PV output exported to grid (kW)
P_i	Electricity demand imported from the grid (kW)
$P_{net} = P_e - P_i$	Dwelling's net power flow (kW)
$P_d = P_{pv} - P_{net}$	Consumer electricity demand (kW)
P_{bat}	Power from battery (kW)
I_{bat}	Current from battery (A)
V_{bat}	Battery voltage (V)
SOC	Battery state of charge (%)
η_{inv}	Battery inverter efficiency
$\eta_{voltage}$	Battery voltage efficiency
η_{SOC}	Battery coulombic efficiency due to state of charge
$\eta_{discharge}$	Battery coulombic efficiency due to rate of discharge
t	Time (h)



باتری در شرایط زیر در حالت شارژ قرار می‌گیرد.

$$P_{PV} > P_d \quad (21)$$

$$SOC < SOC_{max} \quad (22)$$

جریان باتری در حالت شارژ به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$I_{bat} = \frac{\eta_{inv}(P_d - P_{PV})}{V_{bat}} \quad (23)$$

$$Q_{charge} = -\eta_{voltage}\eta_{SOC}I_{bat}t \quad (24)$$

حالت شارژ در زمان i به صورت ۲۵ قابل محاسبه می‌باشد.

$$SOC(i) = SOC(i-1) + Q_{charge} \quad (25)$$

مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج



باتری در شرایط زیر در حالت تخلیه قرار می‌گیرد.

$$P_{PV} < P_d \quad (26)$$

$$SOC < SOC_{min} \quad (27)$$

جریان باتری در حالت تخلیه به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$I_{bat} = \frac{P_{bat}}{\eta_{inv} V_{bat}} \quad (28)$$

$$Q_{discharge} = \frac{I_{bat} t}{\eta_{discharge}} \quad (29)$$

حالت شارژ در زمان i به صورت ۳۰ قابل محاسبه می‌باشد.

$$SOC(i) = SOC(i-1) - Q_{discharge} \quad (30)$$

مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج



مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

۴ اثرات زیست محیطی



مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

تأثیرات زیست محیطی به دوشکل تأثیرات تولید و تأثیرات مصرف در نظر گرفته می‌شود

تأثیر مصرف

$$\left(\frac{\Delta \bar{P}_G}{\Delta P_{total}}\right)_h = \sum_{i=h_1}^{h_n} \left[\left(\frac{\Delta P_{gen}(i)}{\Delta P_{total}(i)}\right) \left(\frac{|\Delta P_{gen}(i)|}{|\Delta P_{total}(i)|}\right) \right] \quad (31)$$

تأثیر تولید

$$\Delta E_{gen} = \sum_{i=1}^n \left[\Delta P_{net}(i)t \left(\frac{\Delta P_{gen}^-(i)}{\Delta P_{total}(i)}\right) \right] \quad (32)$$



مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

۵ نتایج



مقدمه

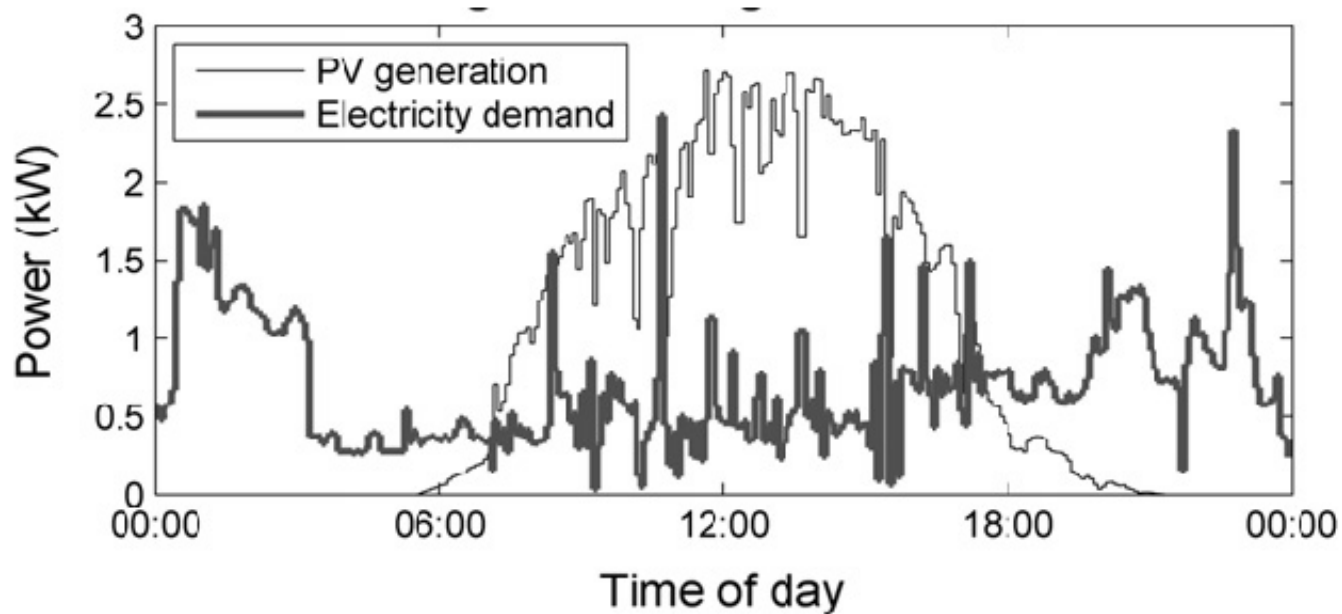
مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

نتایج قسمت دوم مدل‌سازی به صورت زیر آورده شده است.





مقدمه

مدل ریاضی ۱

مدل ریاضی ۲

اثرات زیست
محیطی

نتایج

توان خالص هر خانه با حضور باتری و بدون حضور باتری

