

## مطالعه ی سیستم فتوستتزی کلروزوم به عنوان مولد ترموکارنت

سهراب بهنیا<sup>۱</sup>، پریسا حسین نژاد<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه

### چکیده

امروزه پیشرفت های قابل توجهی در جهت استفاده از مواد بیولوژیکی تجدیدپذیر به عنوان ابزار ذخیره ی انرژی، به وجود آمده است. این ابزارها به عنوان راه حلی برای مشکل آلودگی و ناپایداری با توانایی ذخیره سازی انرژی به شمار می روند. از طرفی تبدیل گرما به توان تولیدی به صورت کاربردی بسیار قابل توجه است. بر این اساس استفاده از یک سیستم بیولوژیکی به عنوان ابزار ترموکارنت و ترموپاور میتواند بسیار جذاب و مورد توجه باشد. در این مطالعه ما از یک سیستم فتوستتزی، کلروزوم، که در تماس مستقیم با ترموستات کوانتومی قرار گرفته استفاده کردیم. مقدار جریان عبوری و مقدار ولتاژ تولیدی به ازاء گرادیان دمای متفاوت حالت صعودی داشته و حداکثر می تواند به مقدار  $37.6 \text{ nA}$  و  $0.37 \text{ V}$  دست پیدا کند که امکان طراحی و ساخت ابزارهایی با توان  $1.1 \text{ nW}$  را به ما میدهد. این مقدار قابل مقایسه با دیگر سیستم های بیولوژیکی و نشان دهنده ی قابلیت این سیستم ها به عنوان ابزار ترموکارنت و ترموپاور است.

استفاده از منابع انرژی فعلی مانند سوخت های فسیلی، حداکثر برای یک قرن دیگر جوابگو خواهد بود و نیاز به جایگزینی مناسب با ریسک کمتر دارد. منابعی که مشکلات سابق چون آلودگی، تولید گازهای گلخانه ای که تهدیدی برای سلامت انسانها و گرمایش جهانی است را نداشته باشند. انرژی به عنوان جدی ترین مسئله ی قرن ۲۱ مطرح است [1]. از طرفی تکنولوژی ترموالکتریک توانایی ذخیره ی مستقیم توان الکتریکی را از گرما دارد و مواد ترموالکتریک از طریق تبدیل مستقیم گرما به الکتریسیته به عنوان ابزارهای ذخیره کننده ی انرژی که دوستان محیط زیست است به شمار می روند. این ابزارها قابلیت تبدیل گرما تلف شده را به الکتریسیته دارند، که به صورت موثر و کاربردی به عنوان ابزاری بهینه در جهت تولید و گسترش ابزارهای ساختار نانو به کار می روند [2,3]. استفاده از مواد بیولوژیکی به دلیل پایداری و بهره ی بالا، بدون آلودگی به عنوان یکی از بهترین کاندیدها برای استفاده به عنوان مولد ترموالکتریک به شمار می روند.

بدین منظور برای مطالعه ی توان تولیدی و قابلیت ترموکارنت یک سیستم فتوستتزی از کلروزوم که در آنتن باکتری های سولفوروی سبز یافت می شود، استفاده کردیم. گرادیان دما توسط اتصال ترموستات کوانتومی به دو انتهای سیستم ایجاد می شود و جریان عبوری از سیستم، به ازاء گرادیان دمای مختلف بدست می آید. مقدار ولتاژ تولیدی در سیستم فتوستتزی با کمک اتصال دو لید فلزی به جای ترموستات بدست می آید. بر اساس نمودار  $I-V$  و مشخص کردن نواحی شبه اهمی مقاومتی که سیستم در برابر عبور جریان از خود نشان می دهد بدست می آید. در ادامه نمودار ولتاژ بر حسب گرادیان دما بدست می آید و میتوانیم توان تولیدی سیستم را تخمین بزنیم. برای کلروزوم ساختارهای متفاوت - ساختار سیلندری با حلقه هایی به فاصله ی یکسان که روی هم چیده شده تا ساختار قطبیده ی هلیکال - پیشنهاد شده است. ما ساده ترین مدل شامل ۵ حلقه که ۱۸ مولکول کروموفور روی هر حلقه جای گرفته را انتخاب می کنیم. هامیلتونین سیستم برای این مدل، هامیلتونین فرنکل است که به شکل زیر تعریف می شود [4]:

$$H_s = \sum_n \epsilon_n a_n^\dagger a_n + \sum_{n \neq m} J_{nm} a_n^\dagger a_m \quad (1)$$

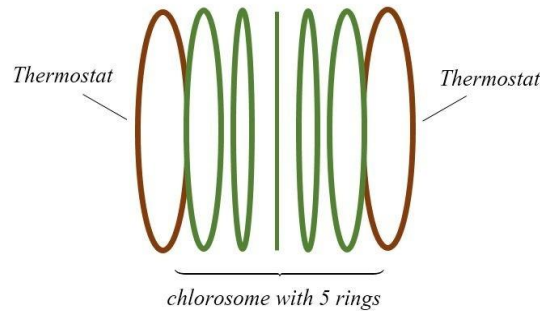
که  $\epsilon_n$  ها انرژی برانگیختگی تک سایت و  $J_{nm}$  ثابت جفت شدگی بین سایت ها است.  $(a_n) a_n^\dagger$  عملگر خلق (فنا) ی ذره روی سایت  $n$ ام است. علاوه بر آن سیستم در محیطی قرار گرفته که ناگزیر از اندرکنش با محیط پیرامون خود است. مدل هایی که برای توصیف محیط (حمام گرمایی) به کار می روند معمولا به صورت حمام بوزونی و فنونی

تعریف می شود [5]. ما از مدل حمام فنونی که به صورت نوسانگرهایی هستند که با کروموفرهای سیستم اندرکنش دارند استفاده می کنیم. لذا هامیلتونین حمام و هامیلتونین اندرکنش به صورت زیر تعریف می شود [4]:

$$H_{bath} = \sum_q \hbar \omega_q b_q^\dagger b_q \quad (2)$$

$$H_{s\_bath} = -\frac{1}{N} \sum_n \sum_q g \omega_q a_n^\dagger a_n (b_q e^{iqn} + H.C.) \quad (3)$$

که  $\omega$  فرکانس مدهای فنونی،  $g$  ثابت جفت شدگی سیستم-حمام و  $b_n^\dagger b_n$  عملگر خلق (فنا) ی فنون است.



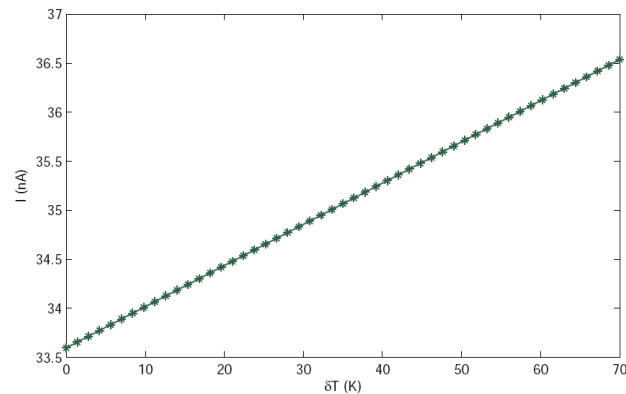
شکل ۱: سیستم کلرزومی ۵ حلقه ی متصل به ترموستات

حال به منظور ایجاد گرادیان دما از ترموستات استفاده میکنم. به دلیل آنکه سیستم، کوانتومی است و میخواهیم مطالعه ای به صورت کوانتومی داشته باشیم نیاز داریم که از ترموستات کوانتومی بهره ببریم. پیش از این تلاش هایی در جهت توصیف این نوع ترموستات انجام شده بود [6] ولی منجر به رابطه ی هامیلتونینی نشده بود. ما با استفاده از معادل کوانتومی هامیلتونین نویز، ترموستات کوانتومی ایجاد کردیم و مطابق شکل ۱ به دو انتهای سیستم متصل کردیم. یک سمت در دما اتاق ثابت نگه داشته شده و سمت دیگر در رنج دمای [273\_340] درجه ی کلوین تغییر دادیم. با توجه به اینکه ساختار فتوسنتزی در دمای بالا تر از ۳۷۰ درجه ی کلوین از بین می رود [7]، بیشترین گرادیان دما را تا ۳۴۰ درجه ی کلوین انتخاب می کنیم. حال میخواهیم جریان عبوری از سیستم در اثر گرادیان دما را اندازه بگیریم. با استفاده از رابطه ی پایستگی می توانیم جریان موضعی که از سیستم می گذرد را به صورت زیر محاسبه کنیم [8]:

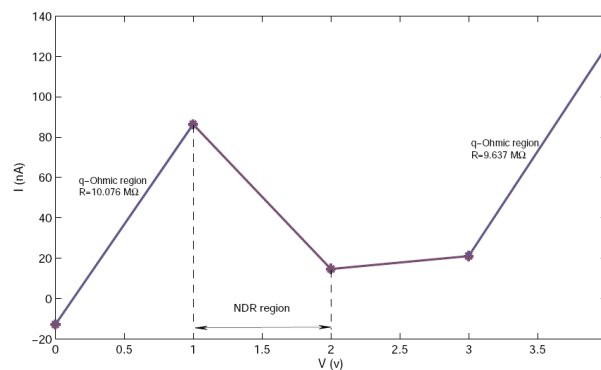
$$I_n = \frac{d(eN_n)}{dt} = \frac{-ie}{\hbar} [a_n^\dagger a_n, H] \quad (4)$$

$$I = \sum_n I_n \quad (5)$$

با جمع بستن روی تک تک جریان های موضعی می توانیم جریان کلی که از سیستم عبور می کند را به صورتی که در شکل ۲ نشان داده شده است، بدست آوریم. برای محاسبه ی مقدار ولتاژ ذخیره شده، دو لید فلزی را به دو انتهای سیستم متصل می کنیم. یکی از لیدها را در ولتاژ صفر نگه داشته و ولتاژ لید دوم را در رنج [0\_4]V تغییر می دهیم. نمودار جریان به ازاء گرادیان ولتاژ خارجی به صورتی که در شکل ۳ نشان داده شده است بدست می آید. نواحی شبه اهمی و NDR کاملاً در نمودار مشخص است که بر این اساس می توانیم مقاومت سیستم را برای نواحی شبه اهمی به صورتی که در شکل ۳ مشخص است، محاسبه کنیم. با کمک مقاومت سیستم و جریان ناشی از گرادیان دما میتوانیم مقدار ولتاژ تولیدی سیستم به ازاء گرادیان دما را داشته باشیم. نمودار اختلاف پتانسیل نیز همچون جریان، کاملاً صعودی بوده و حداکثر پتانسیل تولیدی برابر ۰,۳ V خواهد بود. علاوه بر آن توان تولیدی سیستم نیز بر اساس مقادیر بدست آمده قابل محاسبه است.



شکل ۲: نمودار جریان به ازاء گرادیان دمای اعمال شده



شکل ۳: نمودار جریان به ازاء گرادیان ولتاژ اعمال شده

## نتیجه گیری

تامین انرژی به روش های مرسوم منجر به نابودی محیط زیست شده است لذا به دنبال یافتن منابع انرژی تجدیدپذیر هستیم. با الهام از این منابع طبیعی میتوانیم منابع انرژی با حداقل آلودگی و عملکرد قابل توجه داشته باشیم. ما یک سیستم طبیعی، سیستم فتوستتزی کلروزوم، را برای مطالعه انتخاب کردیم تا قابلیت این نوع سیستم را به عنوان مولد و یک ابزار ترموکارنت بررسی کنیم. حداکثر جریان ایجاد شده در اثر گرادیان دما برابر  $36.6 \text{ nA}$  که امکان طراحی مولد های انرژی سبز با حداکثر توان تولیدی  $11.1 \text{ nW}$  را به ما میدهد.

## مرجع ها

1. N. Armaroli, V. Balzani, "The Future of Energy Supply: Challenges and Opportunities" *Angew. Chem. Int. Ed.* **46**, (2007), 52-66.
2. L. Zhao, G. Tan, S. Hao, J. He, Y. Pei, H. Chi, H. Wang, S. Gong, H. Xu, V. P. Dravid, C. Uher, G. J. Snyder, C. Wolverton, Mercouri G. Kanatzidis, "Ultrahigh power factor and thermoelectric performance in hole-doped single-crystal SnSe" *Science*, **351**, 6269 (2016) 141-144.
3. S. Hurlley, P. Szuromi, "Nanoscale Thermoelectric Characterization" *Science*, **303**, 5659, (2004) 725.
4. A. S. Marquez, L. Chen, K. Sunb, Y. Zhao, "Probing ultrafast excitation energy transfer of the chlorosome with exciton-phonon variational dynamics" *Phys. Chem. Chem. Phys.* **18**, (2016) 20298-20311.
5. M. Mohseni, Y. Omar, G. Engel, M. B. Plenio, *Quantum Effects In Biology*, Cambridge University (2014).
6. D. Mentrup, J. Schnack, *Physica A.* **297**, (2001) 337347.
7. J. K. H. Tang, Y. Xu, G. M. Muhlmann, F. Zare, Y. Khin, S. W. Tam, "Temperature shift effect on the Chlorobaculum tepidum chlorosomes", *Photosynth. Res.* **115**, (2013), 23-41.
8. S. Behnia, S. Fathizadeh, J. Ziaei, "Controlling charge current through a DNA based molecular transistor" *Phys. Lett. A.* **381**, 1, (2016), 36-43.