

# تعیین بهینه مسیر حرکت سینک متحرک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از شبکه هاپفیلد

فرزاد تشریان<sup>۱</sup>، سید مجتبی روحانی<sup>۲</sup>، محمد حسین یغمائی مقدم<sup>۳</sup> و حامد فهري<sup>۴</sup>  
<sup>۱،۲،۳</sup> دانشگاه فردوسی مشهد، گروه کامپیوتر، @icee.org {tashtarian, yaghmaee, m.rouhani}  
<sup>۴</sup> دانشگاه فردوسی مشهد، گروه برق، hamed\_fehri@yahoo.com

چکیده - شبکه‌های حسگر بی‌سیم متشکل از تعداد بسیار زیادی گره حسگر می‌باشند که معمولاً در ناحیه‌ای دورازدسترس به صورت تصادفی پراکنده شده‌اند. اخیراً ایده استفاده از سینک متحرک برای جمع‌آوری داده‌های موجود در سطح شبکه در جهت افزایش طول عمر شبکه حسگر ارائه شده است. ما در این مقاله با استفاده از شبکه هاپفیلد (Hopfield Network) حرکت سینک را در شبکه‌های سلسله‌مراتبی دو سطحی مشخص خواهیم نمود. روش پیشنهادی مسیر حرکت سینک را که متشکل از نقاط توقف بهینه، زمان توقف در آن نقطه و شعاع سرخوشه‌های فعال در هر نقطه می‌باشد، مشخص می‌کند. روش ارائه شده در خصوص کاربردهای مبتنی بر مهلت زمانی و نرخ بیت ثابت، انعطاف‌پذیری بالایی از خود نشان می‌دهد. در قسمت شبیه‌سازی روش ارائه شده را در سناریوی‌های متفاوتی شبیه‌سازی نموده و نتایج بدست آمده نشان از عملکرد بهینه شبکه هاپفیلد در خصوص تعیین مسیر حرکت سینک و افزایش طول عمر شبکه حسگر دارند.

کلیدواژه - شبکه‌های حسگر بی‌سیم، حرکت سینک، کاربردهای مبتنی بر مهلت زمانی، شبکه هاپفیلد

به صورت تک‌گامی برای سینک ارسال می‌گردد [۵]. گره‌های سرخوشه به دلیل جمع‌آوری داده‌های خوشه، پردازش و ارسال به سینک، بیشترین مصرف انرژی را نسبت به اعضای خوشه خود دارند [۶،۷]. تکنیک‌های بسیاری برای کاهش مصرف انرژی سرخوشه‌ها ارائه شده‌اند که در تمامی آنها سینک به صورت ثابت فرض شده است [۶،۷،۸]. اما می‌توان سینک را در شبکه به گونه‌ای تغییر مکان داد که با مصرف انرژی کمتری در سرخوشه‌ها، داده‌های شبکه حسگر را جمع‌آوری کند.

در ادامه، در بخش دوم به معرفی کارهای انجام شده خواهیم پرداخت. در بخش سوم فرضیات و طرح مساله و در بخش چهارم روش پیشنهادی را مطرح خواهیم نمود و در بخش پنجم نیز شبیه‌سازی و ارزیابی روش ارائه شده مطرح می‌گردد و در پایان به نتیجه‌گیری و پیشنهادات کارهای آینده خواهیم پرداخت.

## ۲- کارهای انجام شده

الگوریتم‌هایی که در خصوص حرکت سینک در شبکه ارائه شده‌اند را می‌توان از نقطه نظر طرح‌ریزی حرکت سینک به چهار

## ۱- مقدمه

در سالهای اخیر حرکت سینک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، به عنوان یکی از مهمترین تکنیک‌ها برای افزایش طول عمر شبکه مطرح شده است [۱،۲،۳]. حرکت سینک در داخل شبکه به علت کاهش فاصله حسگرها از سینک باعث صرفه‌جویی زیادی در مصرف انرژی می‌گردد. صرفه‌جویی در مصرف انرژی باعث افزایش عمر حسگرها و در نتیجه، افزایش عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌شود. سینک می‌تواند توسط ربات متحرک، حیوان و یا هواپیمای بدون سرنشین در شبکه حرکت کند [۳،۴]. از آنجائیکه که شبکه‌های سلسله‌مراتبی به عنوان یکی از مهمترین زیرساخت‌های شبکه حسگر در بسیاری از کاربردها مورد استفاده قرار می‌گیرند، ما در این مقاله حرکت سینک را در شبکه‌های سلسله‌مراتبی دو سطحی مورد بررسی قرار خواهیم داد. شبکه‌های سلسله‌مراتبی دو سطحی، متشکل از خوشه‌هایی در سطح اول و سرخوشه‌هایی در سطح دوم می‌باشند. بطوریکه داده‌های خوشه‌ها پس از جمع‌آوری توسط سرخوشه آن خوشه،

کاربرد شبکه حسگر بی‌سیم تعیین می‌گردد؛ این زمان در هر راند با توجه به کیفیت داده‌های دریافتی می‌تواند تغییر نماید. ما در این مقاله برای سادگی در ارائه روش پیشنهادی، این زمان را در کل طول عمر شبکه ثابت در نظر گرفته‌ایم. با توجه به فرضیات بالا زمان  $T_{round}$  را می‌توان به صورت زیر بیان نمود.

$$T_{round} = t_{cf} + t_{dc} + t_{dr} \quad (1)$$

از میان زمان‌های  $t_{dr}$ ،  $t_{dc}$  و  $t_{cf}$  تنها زمان  $t_{dr}$  وابسته به نوع کاربرد شبکه حسگر می‌باشد و دو زمان دیگر وابسته به تعداد گره‌های حسگر در شبکه می‌باشند. با انتخاب کمترین مهلت زمانی ( $t_{dr}$ )، سینک باید با انتخاب نقاط توقف بهینه، تمامی داده‌های سرخوشه‌ها را در مدت  $t_{dr}$  و با کمترین مصرف انرژی در آنها، جمع‌آوری نماید. در این حالت گره‌های سرخوشه باید شعاع ارسال خود را افزایش دهند چراکه سینک نقطه یا نقطاتی را در ناحیه مشترک برخی و یا تمامی سرخوشه‌ها انتخاب خواهد نمود. درحالی‌که با انتخاب بیشترین زمان ممکن برای  $t_{dr}$  هر یک از سرخوشه‌ها می‌توانند تا زمان رسیدن سینک در مجاورتشان، داده‌های اعضاء خوشه خود را در بافر نگهداری نمایند و پس از قرارگیری سینک در محلی مناسب، کل داده‌های بافر شده خود را با صرف کمترین انرژی (کمترین شعاع ارسال) برای آن ارسال نمایند. ماکزیمم مهلت زمانی برای جمع‌آوری داده‌های ( $t_{dr}^{max}$ ) برابر است با مجموع زمان صرف شده برای جمع‌آوری داده‌های تک‌تک سرخوشه‌ها (در الگوریتم پیشنهادی همانند [۱۲، ۱۳]) از مدت زمان حرکت سینک بین نقاط توقف می‌توان صرف‌نظر کرد) به گونه‌ای که سینک در کنار هر سرخوشه قرار گرفته و داده‌های آن را جمع‌آوری نماید.

$$t_{dr}^{max} = \varphi \sum_{i=1}^M q_i / f_i \quad \varphi = \epsilon t_{dc} d_s \quad (2)$$

که در آن  $q_i$  تعداد اعضاء خوشه  $i$ ام،  $d_s$  نرخ دریافت اطلاعات از محیط توسط اعضاء خوشه،  $\epsilon$  ضریب ذوب داده،  $f_i$  سرعت انتقال داده برحسب بیت بر ثانیه در سرخوشه  $i$ ام و  $M$  تعداد سرخوشه‌ها می‌باشد. همچنین کمترین مهلت زمانی ( $t_{dr}^{min}$ ) نیز برابر خواهد بود با مدت زمان جمع‌آوری داده‌های بزرگترین سرخوشه از نظر تعداد اعضاء، به گونه‌ای که سینک در یک نقطه بهینه در شبکه توقف نماید و همه سرخوشه‌ها داده‌های خود را به صورت همزمان به آن ارسال نمایند:

$$t_{dr}^{min} = \varphi \times \max\{q_i / f_i\} \quad i = 1, \dots, M \quad (3)$$

دسته اصلی، متمرکز، مبتنی بر همکاری شبکه، تصادفی و مبتنی بر پویای منطقه‌ای تقسیم نمود [۹]. در روش‌های متمرکز یک نهاد مرکزی اطلاعات مربوط به مکان حسگرها را نگهداری کرده و بر این اساس مسیر حرکت سینک را برنامه‌ریزی و انتخاب می‌کند. در بیشتر این روش‌ها، سینک خود به عنوان تصمیم‌گیرنده عمل می‌کند [۱۰]. در روش مبتنی بر همکاری شبکه، حسگرها با همکاری یکدیگر و به صورت پویا مسیر حرکت سینک را بر اساس توپولوژی فیزیکی شبکه انتخاب می‌کنند. همچنین گره‌ها با شیوه‌ای کاملاً توزیع شده، سینک متحرک را در طول مسیری که از قبل محاسبه شده، هدایت می‌کنند. تطبیق مسیر در این روش می‌تواند بسیار راحت‌تر نسبت به روش متمرکز انجام شود. علاوه بر این، سیستم‌های راهنمای شبکه می‌توانند بدون نیاز به سرویس‌های محل‌یابی طراحی شوند [۱۱]. در روش‌های مبتنی بر تصادف، مسیریابی سینک از تعدادی مرحله تصادفی تشکیل شده است و در هر مرحله، سینک جهتی را به صورت تصادفی انتخاب کرده و به آن سمت حرکت و داده‌های آن را جمع‌آوری می‌کند. این روش‌ها در کاربردهای بلادرنگ کارایی چندانی ندارند [۱۲]. در روش مبتنی بر پویای منطقه‌ای، ابعاد محیطی که حسگرها در آن قرار دارند، داده شده است و سینک مسیری را برای پیمایش این محدوده محاسبه می‌کند. مسیریابی در این روش بستگی به ابعاد این محیط و محدوده ارتباطات دارد [۱۳].

### ۳- فرضیات و طرح مساله

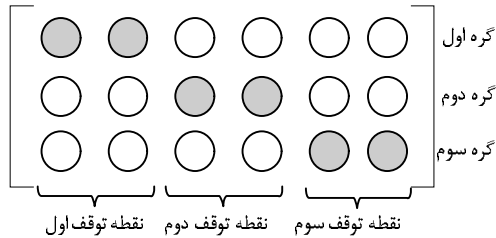
شبکه‌ای شامل یک سینک متحرک چندکاناله [۵] با قابلیت حرکت آزادانه در شبکه و  $U$  گره حسگر  $S_i, i=1 \dots U$  که هر کدام دارای انرژی اولیه  $e_0$  می‌باشند، را در نظر بگیرد. گره‌ها قابلیت تنظیم شعاع ارسال خود را دارند. موقعیت گره‌ها در شبکه به صورت تصادفی تعیین می‌شود. همچنین  $K$  نقطه توقف را به صورت گزیده در شبکه در نظر بگیرید. همانند الگوریتم‌های سلسله‌مراتبی [۱۵]، چرخه فعالیت شبکه به چندین راند ( $Round$ ) تقسیم می‌گردد که زمان مصرف شده در هر یک از راندها،  $T_{round}$  فرض شده است. در یک زمان  $T_{round}$ ، ابتدا گره‌های حسگر به خوشه‌هایی تقسیم می‌شوند (زمان ایجاد خوشه  $(t_{cf})$ ). پس از جمع‌آوری داده‌های اعضاء هر خوشه در زمان  $t_{dc}$  توسط سرخوشه، سینک به سمت یک یا چند نقطه توقف، حرکت می‌کند و زمان مشخصی را در هر یک از ایستگاه‌ها توقف کرده و داده‌های یک یا چند خوشه را از سرخوشه‌ها دریافت می‌نماید (مهلت زمانی ( $t_{dr}$  (Deadline)). مهلت زمانی  $t_{dr}$  متناسب با نوع

$$V_{on} = (\varphi \cdot Q) / (\tau \cdot F) \quad (4)$$

الف) در نظر گرفتن  $t_{dr}^{max}$  در طراحی شبکه هاپفیلد

در نظر گرفتن بیشترین زمان برای  $t_{dr}$  به این مفهوم می باشد که سینک برای جمع آوری داده های هر سرخوشه، می تواند در نزدیکترین نقطه توقف به آنها قرار گرفته و داده های آنها را جمع آوری نماید. با فرض اینکه تعداد نقاط توقف از تعداد گره های سرخوشه در شبکه بزرگتر مساوی باشد، تعداد کل نرون ها برای هر سرخوشه با فرض  $k$  نقطه توقف برابر با  $V_{on} \times K$  خواهد شد. به عنوان مثال، همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود، هر یک از گره های سرخوشه، داده های خود را در نقاط توقف متفاوت و در زمان  $2 \times \tau$  برای سینک ارسال خواهند کرد. از آنجائیکه گره اول داده های خود را به نقطه توقف شماره یک ارسال کرده است و دیگر گره ها به ترتیب به نقاط توقف شماره دو و سه ارسال کرده اند، انتظار داریم این نقاط توقف انتخاب شده فاصله کمتری از دیگر نقاط توقف نسبت به آن ها داشته باشند. تعداد کل نرون ها با در نظر گرفتن  $t_{dr} = t_{dr}^{max}$  برای  $M$  گره سرخوشه، برابر است با

$$Neuron(t_{dr}^{max}) = V_{on} \times K \times M \quad (5)$$



شکل ۲: شبکه هاپفیلد برای ۳ گره و سه نقطه توقف با در نظر گرفتن

$$t_{dr} = t_{dr}^{max}$$

ب) در نظر گرفتن  $t_{dr}^{min}$  در طراحی شبکه هاپفیلد

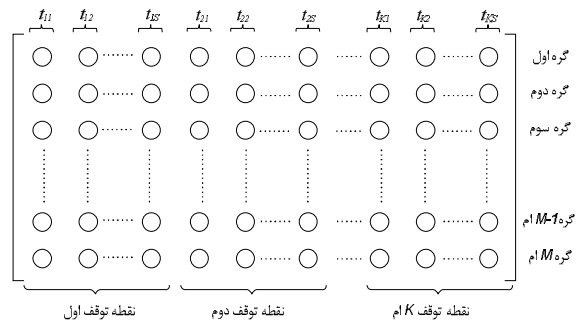
با در نظر گرفتن  $t_{dr} = t_{dr}^{min}$  سینک باید داده های گره های سرخوشه را در کمترین زمان ممکن جمع آوری نماید. به عبارت دیگر، تعداد کل نرون های موجود در هر سطر باید برابر با  $V_{on}$  (۴) باشد. لذا تعداد کل نرون ها در این حالت برابر خواهد بود با:

$$Neuron(t_{dr}^{min}) = V_{on} \times M \quad (6)$$

اگر مقدار  $\tau$  را به گونه ای انتخاب نمود که  $V_{on}$  برابر تعداد نقاط توقف گردد، در این صورت در هر نقطه توقف برای هر سرخوشه فقط یک نرون قرار خواهد گرفت. حال با در نظر گرفتن  $B$  نرون در هر نقطه توقف برای هر سرخوشه ( $1 < B < V_{on}$ ) زمان های متفاوتی از  $t_{dr}$  را خواهیم داشت. ( $t_{dr}^{min} < t_{dr} < t_{dr}^{max}$ )

ما در این قسمت مسیری را برای حرکت سینک در شبکه با استفاده از قابلیت بهینه سازی شبکه هاپفیلد [۱۴] ارائه خواهیم داد. در این مسیر محل توقف سینک و مدت زمان توقف آن در هر نقطه و به دنبال آن شعاع ارسال گره های سرخوشه مشخص خواهد شد. این حرکت باید به گونه ای باشد که: الف) کل مدت زمان توقف سینک در نقاط مشخص شده از مقدار  $t_{dr}$  (مهلت زمانی) کوچکتر و یا مساوی باشد. ب) انرژی مصرفی ارسال داده های گره های سرخوشه به سینک حداقل گردد. پ) تمامی داده های گره های سرخوشه توسط سینک دریافت شوند.

در ابتدا قصد داریم قید اول را در طراحی شبکه هاپفیلد اعمال کنیم و به بیان دیگر تعداد نرون های شبکه هاپفیلد را به مقدار  $t_{dr}$  وابسته نماییم. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می نماید، تعداد سطرهای شبکه هاپفیلد برابر با تعداد گره های سرخوشه در شبکه ( $M$  گره) و تعداد ستون های آن برابر با  $K \times S$  که  $K$  تعداد نقاط توقف و  $S$  تعداد واحد زمانی که سینک می تواند در هر نقطه توقف کند. مدت زمان مجاز توقف سینک در هر ستون برابر با مقدار ثابت  $\tau$  می باشد ( $1 < \alpha < \tau$ )  $t_{\alpha\beta} = \tau$ ، روشن بودن نرون سطر  $x$  ام و ستون  $y$  ام ( $1 < \beta < K$ ) به مفهوم ارسال داده از سرخوشه  $\alpha$  ام به نقطه توقف  $\left[\frac{y}{K}\right]$  می باشد.



شکل ۱: شبکه هاپفیلد پیشنهادی

#### ۴-۱- در نظر گرفتن زمان $t_{dr}$ در طراحی شبکه هاپفیلد

ما در روش پیشنهادی، طراحی شبکه هاپفیلد و تعداد نرون های آنرا وابسته به زمان  $t_{dr}$  قرار داده ایم. برای این منظور بدون از دست دادن جامعیت مساله، با فرض  $f_i = F$  و  $q_i = Q$  ( $i = 1 \dots N$ ) و همچنین با فرض اینکه در صورت فعال بودن نرون  $V_{xy}$ ، سینک به مدت  $\tau$  واحد زمان در موقعیت  $\left[\frac{y}{K}\right]$  توقف خواهد نمود، تعداد نرون های فعال برای ارسال کل داده های یک سرخوشه به سینک ( $V_{on}$ ) از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

#### ۲-۴ - معادله انرژی شبکه هاپفیلد پیشنهادی

$$\begin{aligned} (\sum_{x=1} \sum_{y=1} V_{xy} - \delta)^2 = & \quad (13) \\ (\sum_{x=1} \sum_{y=1} V_{xy})^2 - 2\delta \sum_{x=1} \sum_{y=1} V_{xy} + & \\ \delta^2 = \sum_{x=1} \sum_{y=1} \sum_{i=1} \sum_{j=1} V_{xy} V_{ij} - & \\ 2\delta \sum_{x=1} \sum_{y=1} V_{xy} + \delta^2 & \end{aligned}$$

در رابطه (۱۳) می توان از جمله آخر  $(\delta^2)$  صرف نظر کرد، زیرا که هدف مینیمم سازی بوده و این جمله مثبت می باشد. حال باید حاصل جمع رابطه (۱۳) و  $E = \sum_{x=1} \sum_{y=1} V_{x,y} e_{x,y}$  را برابر با معادله انرژی هاپفیلد در (۱۰) قرار داد. در این صورت داریم:

$$\begin{aligned} -\frac{1}{2} \sum_x \sum_y \sum_i \sum_j V_{x,y} W_{xy,ij} V_{i,j} & \quad (14) \\ - \sum_x \sum_y V_{x,y} I_{x,y} = a \sum_{x=1} \sum_{y=1} V_{x,y} e_{x,y} + & \\ b \sum_{x=1} \sum_{y=1} \sum_{i=1} \sum_{j=1} V_{x,y} V_{i,j} - & \\ 2\delta b \sum_{x=1} \sum_{y=1} V_{x,y} & \end{aligned}$$

حال باتوجه به (۱۴)  $I_{x,y}$  و  $W_{xy,ij}$  به صورت زیر بدست

می آید:

$$W_{xy,ij} = -2b \quad (15)$$

$$I_{x,y} = (2\delta b - a)(e_{x,y} - 1) \quad (16)$$

#### ۵- ارزیابی روش پیشنهادی

در این قسمت با استفاده از نرم افزار MATLAB به ارزیابی روش ارائه شده خواهیم پرداخت. در شبیه سازی انجام شده عملکرد روش پیشنهاد شده را در یک شبکه فرضی  $100 \times 100$  متر مربع با شش گره سرخوشه و شش محل توقف در سناریوهای متفاوت از نظر چیدمان و  $t_{dr}$  های متفاوت بررسی خواهیم نمود. دیگر پارامترهای شبیه سازی در جدول شماره ۱ مشاهده می گردد. در این شبیه سازی الگوریتم خوشه بندی همانند [۱۵] و معادلات انرژی ارسال و دریافت گره های حسگر همانند [۲] در نظر گرفته شده است.

جدول شماره ۱- پارامترهای شبیه سازی

مقدار	نام مشخصه
6	تعداد گره های سرخوشه (M)
120Kb	مقدار کل داده در هر گره $(\varphi, q_i)$
20kbps	سرعت اسال در هر گره $(f_i)$
6	تعداد نقاط توقف (K)
1s	$\tau$
6	$V_{on}$
50 nJ/bit	$\theta_1$
10 pJ/bit/m <sup>2</sup>	$\theta_2$
0.5	a,b

الف) انتخاب بهینه محل توقف با در نظر گرفتن چیدمان منظم؛ در این قسمت در یک توپولوژی منظم و زمان های متفاوت  $t_{dr}$  عملکرد روش پیشنهادی را بررسی خواهیم نمود. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می شود، در کنار هر گره حسگر، محل توقفی با فاصله ۱۰ متری از آن قرار گرفته است. شبکه هاپفیلد طراحی

در این قسمت قصد داریم شبکه هاپفیلد به گونه ای عمل نماید که دو قید مهم و باقیمانده (ب) و (پ) در قسمت ۴ را ارضاء نماید. برای این کار دو قید باقیمانده را بر رابطه انرژی شبکه هاپفیلد، نگاشت خواهیم داد. با توجه به شبکه هاپفیلد پیشنهاد شده، مجموع انرژی مصرفی توسط گره های سرخوشه به صورت (۷) محاسبه خواهد شد (مینیمم مقدار آن مطلوب است)

$$\min E = \sum_{x=1} \sum_{y=1} V_{x,y} e_{x,y} \quad (7)$$

که  $e_{xy}$  مشخص کننده میزان مصرف انرژی گره  $x$  در جایگاه  $\left[\frac{y}{K}\right]$  بوده و به صورت زیر بیان می شود:

$$e_{xy} = (\theta_1 + \theta_2 d_{xy}^2). \tau. F \quad (8)$$

که در آن  $\theta_1$  و  $\theta_2$  مقادیری ثابت برای انرژی مصرفی جهت راه اندازی مدار فرستنده و تقویت کننده توان می باشند.  $d_{xy}$ ، فاصله اقلیدسی بین گره  $x$  ام و سینک مستقر در موقعیت  $\left[\frac{y}{K}\right]$  می باشد.  $F$  نیز سرعت ارسال داده در سرخوشه ها می باشد. قید دوم که بیانگر این مساله است که کل داده های جمع آوری شده توسط سینک باید با مجموع داده های سرخوشه ها برابر باشد، به صورت زیر مدل می گردد:

$$\min D = (\sum_{x=1} \sum_{y=1} V_{x,y} - \delta)^2 \quad (9)$$

مینیمم رابطه (۹) برابر با صفر می باشد، این بدان مفهوم است که تمامی داده های سرخوشه ها به سینک ارسال شده است.  $\delta$  برابر است با تعداد نرون های فعال برای سرخوشه ها جهت ارسال داده های آن به سینک و این مقدار برای  $t_{dr}$  های متفاوت یکسان می باشد  $(\delta = M \cdot V_{on})$ . مدل انرژی شبکه هاپفیلد به صورت (۱۰) بیان شده است [۱۴]. این تابع به نحوی بیانگر عملکرد شبکه هاپفیلد می باشد، زیرا زمانیکه شبکه به سمت جواب های بهینه حرکت می کند این نقاط در صفحه انرژی به سوی یکی از چاله ها حرکت خواهند نمود و جواب نهایی زمانیکه محقق می شود، آن نقطه در عمیقترین چاله در صفحه انرژی قرار خواهد گرفت.

$$E_{Hopfield} = -\frac{1}{2} \sum_x \sum_y \sum_i \sum_j V_{x,y} W_{xy,ij} V_{i,j} - \sum_x \sum_y V_{x,y} I_{x,y} \quad (10)$$

حال جهت بهینه سازی دو قید بالا باید حاصل جمع دو رابطه (۷) و (۹) بر معادله انرژی شبکه هاپفیلد نگاشت داده شود. به عبارت دیگر:

$$E_{Hopfield} = a.E + b.D \quad (11)$$

$$E_{Hopfield} = a \sum_{x=1} \sum_{y=1} V_{x,y} e_{x,y} + b (\sum_{x=1} \sum_{y=1} V_{x,y} - \delta)^2 \quad (12)$$

که  $a$  و  $b$  ضرایبی ثابت و مثبتی می باشند. رابطه (۹) را می توان به صورت زیر بیان نمود:

هاپفیلد به خروجی بهینه نزدیک می باشد، به عنوان مثال همانطورکه در شکل ۳ مشاهده می شود گره  $N_3$  برای ارسال داده های خود باید دو نقطه توقف  $k_2$  و  $k_3$  را انتخاب نماید؛ این انتخاب در خروجی شبکه هاپفیلد شکل ۶ مشاهده می شود. اما درخصوص گره  $N_4$  که فقط نیمی از اطلاعات خود را به نقطه  $k_4$  ارسال کرده است می توان حجم اطلاعات ارسالی را با افزایش نرخ ذوب داده ( $f$ ) کاهش داد و یا اینکه الگوریتمی اصلاحی برای آن ارائه نمود (این الگوریتم به عنوان یکی از کارهای آینده پیشنهاد شده است). در حالی که  $t_{dr} = t_{dr}^{min}$  انتخاب شده باشد (شکل ۷)، شبکه هاپفیلد مربوط به آن دارای شش سطر (به تعداد نقاط توقف با توجه به مقدار  $\tau$ ) می باشد. در این حالت مقدار انرژی مصرفی برای گره های حسگر بیشترین خواهد شد.

	$K_2$	$K_4$	$K_6$		$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$
$N_1$	1	1	1	0	0	0	1			
$N_2$	1	1	1	0	1	0				
$N_3$	0	1	1	1	0	1				
$N_4$	0	1	1	1	1	0				
$N_5$	0	1	0	1	1	1				
$N_6$	1	1	0	0	1	1				

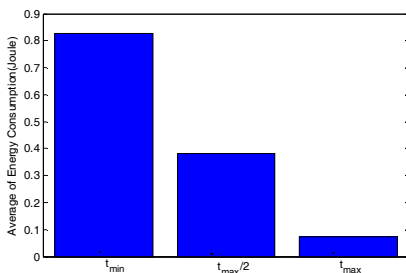
شکل ۷: خروجی شبکه

$$t_{dr} = t_{dr}^{min}$$

شکل ۶: خروجی شبکه هاپفیلد

$$t_{dr} = t_{dr}^{max} / 2$$

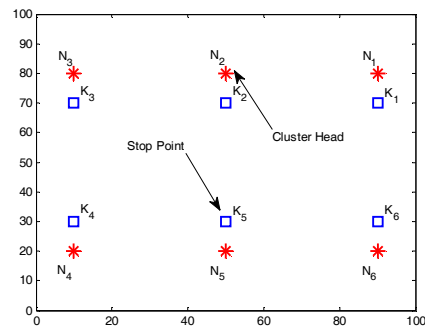
در شکل ۸ میانگین انرژی مصرفی سرخوشه ها را در سه حالت متفاوت  $t_{dr}$  با یکدیگر مقایسه نموده ایم. همانطور که مشاهده می شود، بیشترین مصرف انرژی در زمان  $t_{dr} = t_{dr}^{min}$  صورت گرفته است زیرا در این حالت گره های حسگر باید اطلاعات خود را به نقاط توقف دورتری ( شعاع ارسال بیشتری) ارسال کنند. اما هر چه این زمان را افزایش دهیم مقدار مصرف انرژی به دلیل کاهش شعاع ارسال سرخوشه ها، کاهش پیدا می کند.



شکل ۸: میانگین انرژی دریافتی گره ها در زمان های متفاوت  $t_{dr}$

(ب) انتخاب بهینه محل توقف با در نظر گرفتن چیدمان نامنظم؛ در ادامه، یک توپولوژی دیگر (شکل ۹) را انتخاب کرده و خروجی شبکه هاپفیلد آنرا در زمانهای  $t_{dr} = t_{dr}^{max}$  و  $t_{dr} = t_{dr}^{max} / 2$  بدست آوردیم. همانطور که شکل ۱۰ نشان می دهد، اگر زمان کافی برای جمع آوری داده ها در نظر گرفته شود، سینک داده های گره های سرخوشه را از نزدیکترین نقاط توقف دریافت می کند، به این ترتیب که گره  $N_1, N_2$  به نقطه  $K_1$  و گره

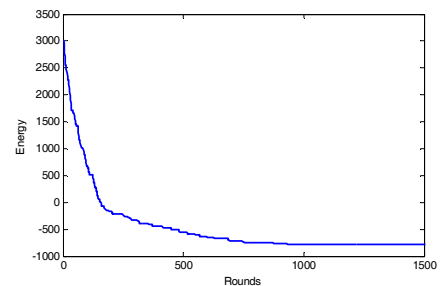
شده با در نظر گرفتن حداکثر زمان توقف ( $t_{dr} = t_{dr}^{max}$ ) و با اختیار کردن  $\tau$  برابر با یک ثانیه ( $V_{on} = 6$ ) دارای ۶ سطر و ۳۶ ستون خواهد بود (رابطه (۵) را مشاهده نمایید). در این حالت انتظار داریم، خروجی شبکه هاپفیلد به گونه ای باشد که اطلاعات هر گره سرخوشه در نزدیکترین نقطه توقف به آن توسط سینک به صورت کامل دریافت شود. در شکل ۴ خروجی شبکه هاپفیلد را برای شکل ۳ و با در نظر گرفتن  $t_{dr} = t_{dr}^{max}$  مشاهده می - نمایید. در شکل ۵ سطح انرژی را برای حالتی که  $t_{dr} = t_{dr}^{max}$  باشد، به تصویر درآمده است. این نمودار نزولی، نشان می دهد که شبکه هاپفیلد به سمت جواب بهینه حرکت کرده است.



شکل ۳: چیدمان منظم گره ها و حرکت سینک در آن

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$
$N_1$	1	1	1	1	1	1
$N_2$	0	0	0	0	0	0
$N_3$	0	0	0	0	0	0
$N_4$	0	0	0	0	0	0
$N_5$	0	0	0	0	0	0
$N_6$	0	0	0	0	0	0

شکل ۴: خروجی شبکه هاپفیلد شکل ۶ ( $t_{dr} = t_{dr}^{max}$ )



شکل ۵: سطح انرژی شبکه هاپفیلد شکل ۶ ( $t_{dr} = t_{dr}^{max}$ )

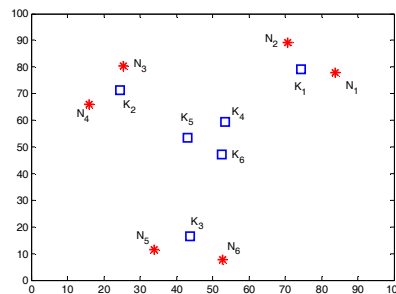
در ادامه، شبکه هاپفیلد را برای  $t_{dr} = t_{dr}^{max} / 2$  و  $t_{dr} = t_{dr}^{min}$  بار دیگر اجرا نمودیم. با فرض  $t_{dr} = t_{dr}^{max}$  هر گره حسگر باید داده های خود را فقط به یک نقطه توقف ارسال نماید، اما در حالتی که  $t_{dr} = t_{dr}^{max} / 2$  انتخاب گردد، هر گره باید داده های خود را در دو نقطه توقف به سینک تحویل دهد. خروجی شبکه هاپفیلد را برای  $t_{dr} = t_{dr}^{min}$  و  $t_{dr} = t_{dr}^{max} / 2$  به ترتیب در شکل ۶ و ۷ مشاهده نمایید. همانطور که در شکل ۶ و ۷ مشاهده می شود، کل داده های دریافتی توسط سینک با مجموع داده های گره ها برابر نمی باشد اما خروجی شبکه

سرعت سینک در بین نقاط توقف به عنوان کارهای آینده پیشنهاد می گردد.

#### مراجع

- [1] M.Marta and M. Cardei, "Using Sink Mobility to Increase Wireless Sensor Networks Lifetime," Proc. Ninth IEEE Int'l Symp. World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), pp. 1-10, 2008.
- [2] M. Gatzianas and L. Georgiadis, "A Distributed Algorithm for Maximum Lifetime Routing in Sensor Networks with Mobile Sink," IEEE Trans. Wireless Comm., vol. 7, no. 3, pp. 984-994, Mar. 2008.
- [3] Y. Bi, J. Niu, L. Sun, W. Huangfu, Y. Sun, "Moving Schemes for Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks", In proceeding of IEEE Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC), pages 101-108, April 2007.
- [4] Z.M. Wang, S. Basagni, E. Melachrinoudis, and C. Petrioli, "Exploiting Sink Mobility for Maximizing Sensor Network Lifetime," Proc. 38th Hawaii Int'l Conf. System Sciences, 2005.
- [5] M. Ma, Y. Yang, "SenCar: An Energy-Efficient Data Gathering Mechanism for Large-Scale Multihop Sensor Networks," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, pp. 1476-1488, 2007.
- [6] Farzad Tashtarian, A. T. Haghghat, Mohsen Tolou Honary, Hamid Shokrzadeh, "A New Energy-Efficient Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks", Proc. of international Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM2007), Croatia, 27 - 29, September 2007.
- [7] Farzad Tashtarian, M. Tolou Honary, A. Haghghat and J. Chitizadeh, "A New Energy-Efficient Level-based Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks", Proc. of Sixth International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS2007), Singapore, 10-13, Dec. 2007.
- [8] Farzad Tashtarian, A.T Haghghat, M.H. Yaghmaee, M. Tolou Honary, M. Mazinani, "On global clustering algorithm: layer-oriented approach for multi hop wireless sensor network", published on the International Review on Computers and Software (IRECOS) vol. 6, N. 2, page: 209-220, may 2009.
- [9] J.RAO, S. BISWAS, "Data Harvesting in Sensor Networks Using Mobile Sinks", IEEE Wireless Communications, December 2008.
- [10] J. Luo and J.-P. Hubaux, "Joint Mobility and Routing for Lifetime Elongation in Wireless Sensor Networks," Proc. IEEE INFOCOM, 2005.
- [11] M. H. Khodashahi, F. Tashtarian, M. H. Yaghmaee Moghaddam, M. Tolou Honary, "Optimal Location for Mobile Sink in Wireless Sensor Networks", In proceeding of Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), IEEE, pages 1-6, 2010
- [12] R. Zhang, M. J. Lee, S. Soon Joo, "Distributed mobile sink support in wireless sensor networks", In proceeding of IEEE Military Communications Conference (MILCOM), pages 1-6, November 2008.
- [13] H. Luo, F. Ye, J. Cheng, S. Lu and L. Zhang, "TTDD: Twotier Data Dissemination in Large-scale Wireless Sensor Networks", ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications (MONET), pp. 148-159, Sept. 2003.
- [14] J.J. Hopfield, "Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-state neurons" proceeding of National Academy of Sciences 81, 1984.
- [15] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 1, no. 4, pp. 660-670, October 2002.

$N_3$  و  $N_4$  به نقطه توقف  $K_2$  و دو گره  $N_5$  و  $N_6$  به نقطه توقف  $K_3$  داده های خود را ارسال خواهند کرد. این درحالیست که سینک در سه نقطه  $K_4$ ،  $K_5$  و  $K_6$  توقفی نخواهد کرد. اما در شکل ۱۱ مشاهده می کنید که با کاهش زمان  $t_{dr}$  به اندازه  $t_{dr}^{max}/2$  سینک باید در نقاط  $K_4$ ،  $K_5$  و  $K_6$  توقف کند و داده های گره های مربوطه را جمع آوری کند.



شکل ۹: چیدمان نامنظم گره ها و حرکت سینک در آن

$N_1$	1 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	
$N_2$	1 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	
$N_3$	0 0 0 0 0 0	1 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	
$N_4$	0 0 0 0 0 0	1 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	
$N_5$	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	1 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	
$N_6$	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	1 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	
		$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$

شکل ۱۰: خروجی شبکه هاپفیلد شکل ۹ ( $t_{dr} = t_{dr}^{max}$ )

$N_1$	1 1 1	0 0 0	0 0 0	0 1 0	0 0 0	0 0 0	
$N_2$	1 1 1	0 0 0	0 0 0	1 1 1	0 0 0	0 0 0	
$N_3$	0 0 0	1 1 1	0 0 0	0 0 0	1 1 1	0 0 0	
$N_4$	0 0 0	1 1 1	0 0 0	0 0 0	1 1 1	0 0 0	
$N_5$	0 0 0	0 0 0	1 1 1	0 0 0	0 0 0	0 0 1	
$N_6$	0 0 0	0 0 0	1 1 1	0 0 0	0 0 0	1 1 0	
		$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$

شکل ۱۱: خروجی شبکه هاپفیلد شکل ۹ ( $t_{dr} = t_{dr}^{max}/2$ )

## ۶- نتیجه گیری و کارهای آینده

ما در این مقاله، حرکت بهینه سینک را در شبکه حسگر سلسله مراتبی با استفاده از شبکه هاپفیلد (Hopfield Network) بدست آوردیم. مسیر حرکت سینک و زمان توقف آن در هر نقطه به همراه شعاع ارسال سرخوشه ها با توجه به مهلت زمانی اعلام شده ( $t_{dr}$ ) تعیین می گردد. زمان  $t_{dr}$  تأثیری مهمی بر طراحی شبکه هاپفیلد و تعداد نرون های آن دارد. در روش پیشنهادی، تابع هزینه ای برای حرکت سینک در نظر گرفته شده است که شامل دو فاکتور مهم انرژی و داده های جمع آوری شده از گره های سرخوشه می باشد و سپس این تابع توسط شبکه هاپفیلد بهینه شده و مسیر حرکت سینک مشخص می گردد. نتایج به دست آمده در قسمت شبیه سازی و ارزیابی روش پیشنهادی، عملکرد بهینه روش ارائه شده را در توپولوژی های متفاوت و زمان های متفاوت  $t_{dr}$  نشان می دهد. ارائه یک الگوریتم اصلاحی برای پردازش جواب های بدست آمده و همچنین در نظر گرفتن