

# حل مساله مکان یابی گره ها در شبکه های حسگر بی سیم با استفاده از خودکارهای یادگیر

یعقوب علی اکبر پورگنجینه کتاب<sup>۱</sup>، دکتر جابر کریم پور<sup>۲</sup>، دکتر آریاز عیسی زاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، زنجان  
yagob87@gmail.com

<sup>۲</sup> دکتری، گروه علوم کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز  
Karimpour@tabrizu.ac.ir

<sup>۳</sup> دکتری، گروه علوم کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز  
Isazadeh@tabrizu.ac.ir

## چکیده

کشف موقعیت گره ها در شبکه های حسگر ارتباط نزدیکی با روش های مسیریابی، کشف موقعیت اهداف متحرک و نیز مصرف انرژی دارد. الگوریتم های مکان یابی موجود برای افزایش دقت تخمین مکان گره های حسگر از روش های ریاضی و آماری استفاده می کنند. تحقیقات نشان می دهد بدست آوردن نتایج دقیق با روش های ریاضی کلاسیک بسیار سخت و یا پرهزینه است. در این مقاله یک روش جدید براساس الگوریتم یادگیری تقویتی برای مکان یابی گره ها در شبکه های حسگر ارائه می کنیم. در الگوریتم پیشنهادی از دو فاز مسافت یابی و تخمین موقعیت استفاده می شود. در فاز مسافت یابی از روش بردار فاصله و در فاز تخمین موقعیت گره ها از خودکار یادگیر تصادفی با ساختار متغیر استفاده شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که الگوریتم پیشنهادی در تخمین مکان گره ها، نسبت به الگوریتم های (DV-distance) APS، DV-Hop و PSO خطای کمتری دارد.

## کلمات کلیدی

شبکه های حسگر بی سیم، مکان یابی، گره های راهنما (لنگر)، گره های هدف، خودکار یادگیر

می باشد. برای حل این مشکل روش های مکان یابی گوناگونی پیشنهاد شده است.

## ۱- مقدمه

روش های مکان یابی را می توان در یک تقسیم بندی به دو دسته روش های مبتنی بر محدوده و روش های مستقل از محدوده طبقه بندی کرد. در روش های مبتنی بر محدوده، اندازه گیری فاصله با استفاده از زمان انتشار سیگنال یا قدرت سیگنال دریافتی (RSS) بدست می آید [۲] که شامل روش های AOA, TDOA, RSSI, TOA و ... می باشند [۳]. از طرفی، روش های مستقل از محدوده با صرفه تر می باشند. به عنوان مثال روش APIT [۴] فضای شبکه را به نواحی مثلثی تجزیه می کند و ناحیه ای که یک حسگر به طور بالقوه می تواند در آن قرار داشته باشد را محدود می کند. روش APS [۵] شبیه به روش مسیریابی مبتنی بر بردار فاصله است. ابتدا لنگرها موقعیت خود را در شبکه منتشر می کنند سپس هر گره با موقعیت مجهول از روش

شبکه های حسگر بی سیم خودشان را از شبکه های بی سیم یا باسیم رایج از طریق حسگرها مجزا می کنند و با محیط برهم کنش متقابل دارند. این شبکه ها [۱] شبکه هایی با تعداد زیادی از گره های حسگر هستند که در یک منطقه جغرافیایی وسیع گسترش یافته اند. حسگرها قادر به جمع آوری، ذخیره و پردازش اطلاعات و همچنین ارتباط با همسایگان خود می باشند و به این ترتیب مشاهداتی را برای سیستم های محیطی فراهم می کنند. در این شبکه ها حسگرها باید از مکان خود آگاه باشند. سیستم موقعیت یابی سراسری (GPS) می تواند برای مکان یابی حسگرها استفاده شود اما استفاده از GPS در همه حسگرها عملی نیست زیرا یک شبکه حسگر بی سیم شامل هزاران حسگر است و مجهز کردن همه آن ها به GPS بسیار پرهزینه

مثلاً بندی برای تخمین موقعیتش استفاده می‌کند. در روش [6] MDS-MAP، نقشه‌های نسبی تولید می‌شود. روش DV-Hop [5] یک الگوریتم چندگام می‌باشد. مکان‌یابی یک مسئله بهینه‌سازی بدون محدودیت است، در سال‌های اخیر الگوریتم‌های مکان‌یابی مختلفی ارائه شده‌اند که مبتنی بر بهینه‌سازی هستند. در [7] الگوریتم ژنتیک برای بهبود روش APS [8] پیشنهاد شده است. در [9] از شبیه‌سازی بازپخت فلزات (Simulated Annealing) به عنوان ابزار بهینه‌سازی استفاده شده است این روش هزینه محاسباتی بالایی دارد. روش تغییر یافته‌ای از Multilateration تکراری نیز در [10] بر اساس بهینه‌سازی دسته‌ذرات ارائه شده است که دقت مناسبی دارد. الگوریتم مکان‌یابی مونت کارلو توسط ایوانس و هوو مطرح شده است که یک الگوریتم مکان‌یابی مستقل از محدوده و مبتنی بر گره راهنما است در این الگوریتم از روش مونت کارلو برای مکان‌یابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم متحرک استفاده شده است [12].

در این مقاله، برای بهبود دقت تخمین مکان گره‌ها از خودکار یادگیر استفاده کرده‌ایم، با این توضیح که در فاز مسافت‌یابی از روش DV-distance و در فاز تخمین مکان گره‌های حسگر از خودکار یادگیر استفاده شده است. در ادامه و در بخش دوم به معرفی مختصری از خودکار یادگیر خواهیم پرداخت. در بخش سوم روش پیشنهادی برای تخمین مکان گره‌ها به کمک خودکارهای یادگیر را بیان می‌کنیم. بخش چهارم به ارائه نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی روش پیشنهادی اختصاص دارد و در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری بیان خواهد شد.

## ۲- خودکار یادگیر

یک خودکار یادگیر را می‌توان بصورت یک شیء مجرد که دارای تعداد متناهی اقدام است، در نظر گرفت. خودکار یادگیر با انتخاب یک اقدام از مجموعه اقدام‌های خود و اعمال آن بر محیط، عمل می‌کند [11]. اقدام مذکور توسط یک محیط تصادفی ارزیابی می‌شود و خودکار از پاسخ محیط برای انتخاب اقدام بعدی خود استفاده می‌کند. در طی این فرآیند خودکار یاد می‌گیرد که اقدام بهینه را انتخاب نماید. نحوه استفاده از پاسخ محیط به اقدام انتخابی خودکار که در جهت انتخاب اقدام بعدی خودکار استفاده می‌شود، توسط الگوریتم یادگیری خودکار مشخص می‌گردد. ارتباط خودکار یادگیر تصادفی با محیط در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) خودکار یادگیر تصادفی

محیط را می‌توان توسط سه‌تایی  $E \equiv \{a, B, c\}$  نشان داد که در آن  $a \equiv \{a_1, a_2, \dots, a_r\}$  مجموعه ورودی‌ها،  $B \equiv \{B_1, B_2, \dots, B_r\}$  مجموعه خروجی‌ها و  $c \equiv \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$  مجموعه احتمال‌های جریمه می‌باشند. ورودی محیط یکی از  $r$  اقدام انتخاب شده خودکار است. خروجی (پاسخ) محیط به هر اقدام  $i$  توسط  $B_i$  مشخص می‌شود. اگر  $B_i$  یک پاسخ دودویی باشد، محیط مدل  $P$  نامیده می‌شود. در چنین محیطی  $B_i(n) = 1$  بعنوان پاسخ نامطلوب، شکست و یا جریمه، و  $B_i(n) = 0$  بعنوان پاسخ مطلوب، موفقیت و یا پاداش در نظر گرفته می‌شوند. در محیط مدل  $Q, B_i(n)$  شامل تعداد محدودی از مقادیر گسسته در بازه  $[0, 1]$  می‌باشند. در محیط مدل  $S$  مقادیر  $B_i(n)$  یک متغیر تصادفی در بازه  $[0, 1]$  می‌باشند. خودکار یادگیر به دو گروه خودکار با ساختار ثابت و خودکار با ساختار متغیر دسته‌بندی می‌گردد. خودکار یادگیر تصادفی با ساختار متغیر را می‌توان با چهارتایی  $LA \equiv \{a, B, p, T\}$  نشان داد که  $p \equiv \{p_1, p_2, \dots, p_r\}$  بردار احتمال انتخاب اقدام‌های خودکار و  $T \equiv p(n+1) = T[a(n), B(n), p(n)]$  الگوریتم یادگیری می‌باشد. الگوریتم زیر یک نمونه از الگوریتم‌های یادگیری خطی در محیط مدل  $P$  است. اگر خودکار یادگیر در تکرار  $n$ ام، یک عمل خود مانند  $a_i$  را انتخاب کند، تغییر احتمال عمل‌ها بصورت زیر خواهند بود:

۱- پاسخ مطلوب از محیط

$$p_i(n+1) = p_i(n) + a[1 - p_i(n)] \quad (1)$$

$$p_j(n+1) = (1 - a)p_j \quad \forall j, j \neq i \quad (2)$$

۲- پاسخ نامطلوب از محیط

$$p_i(n+1) = (1 - b)p_i(n) \quad (3)$$

$$p_j(n+1) = \frac{b}{r-1} + (1 - b)p_j(n) \quad \forall j, j \neq i \quad (4)$$

که  $r$  تعداد اقدام‌های خودکار،  $a$  پارامتر پاداش و  $b$  پارامتر جریمه می‌باشند. به طوریکه  $0 \leq a, b < 1$  است. اگر مقادیر  $a$  و  $b$  برابر باشند، خودکار یادگیر  $L_{RP}$  و زمانی که  $b$  مساوی با صفر باشد خودکار یادگیر  $L_{RI}$  و اگر  $b \ll a$  باشد، خودکار یادگیر  $L_{REP}$  نامیده می‌شود.

## ۳- الگوریتم پیشنهادی

شبکه‌ای شامل  $M$  حسگر در نظر می‌گیریم، فرض می‌کنیم که موقعیت  $N$  گره از کل  $M$  گره، مجهول است و هدف اصلی ما یافتن موقعیت این  $N$  گره است. به آن‌ها گره هدف می‌گوئیم.  $M-N$  گره نیز لنگر می‌باشند. تخمین موقعیت گره‌های هدف به عنوان یک مساله بهینه‌سازی مطرح می‌شود که در آن مجموع مربعات خطاها بین

گره هدف و لنگرها به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. تابع هدف به شکل

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^{N_a} (d_i - \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2})^2 \quad (5)$$

تعریف می شود که در آن  $(x, y)$  مختصات گره هدف می باشد که باید تعیین شود و  $(x_i, y_i)$  مختصات لنگر نام است.  $d_i$  فاصله اندازه گیری شده بین گره هدف و لنگر نام می باشد که از فاز مسافت یابی بدست می آید و خطا دار است.  $N_a$  نیز تعداد گره های لنگر است.

در فاز اول روش پیشنهادی مسافت بین گره های هدف از لنگرهای همسایه محاسبه می گردد. در این جا از قدرت سیگنال دریافتی برای این منظور استفاده شده است. از آنجا که ممکن است همه گره ها در شعاع ارتباطی حداقل سه گره لنگر نباشند، برای افزایش نرخ موفقیت گره ها در یافتن مکان شان متد انتشار DV-distance که در روش ASP تعریف شده است، برای محاسبه فاصله هر حسگر تا لنگرها به کار رفته است. در این روش فاصله بین حسگرها به شیوه گام به گام اندازه گرفته می شود. گره لنگر یک پیام همه پخشی را که شامل شناسه و مکان جغرافیایی اش می باشد، ارسال می کند. با استفاده از قدرت سیگنال پیام، گره همسایه می تواند فاصله فیزیکی خود تا لنگر را تعیین نماید. سپس همسایه ها پیامی که محتوی فاصله شان تا لنگر مربوطه است را در شبکه منتشر می کنند. حسگری که پیام را دریافت می کند فاصله خود تا آن لنگر را با جمع کردن فاصله تا همسایه اش و فاصله همسایه تا لنگر محاسبه می کند. این کار ادامه می یابد و همه گره ها می توانند فاصله تا لنگر مورد نظر را بدست آورند. یک گره با موقعیت نامعلوم بعد از جمع آوری اطلاعات از ۳ یا تعداد بیشتری لنگر می تواند موقعیتش را به کمک خودکار یادگیر تخمین بزند. مرکز ثقل لنگرها تخمین اولیه ما از مکان گره می باشد:

$$(x_c, y_c) = (\frac{1}{N_a} \sum_{i=1}^{N_a} x_i, \frac{1}{N_a} \sum_{i=1}^{N_a} y_i) \quad (6)$$

$N_a$  تعداد گره های لنگری است که گره هدف اطلاعات مکانی را از آن ها دریافت کرده است.

در فاز دوم الگوریتم از خودکار یادگیر برای تخمین موقعیت گره استفاده می کنیم. عمل های خودکار یادگیر حرکت راه حل اولیه (مرکز ثقل لنگرها) به سمت مقادیر جدید می باشد. در این جا ۴ جهت برای حرکت در نظر گرفته شده است. بنابراین خودکار دارای ۴ عمل  $a \equiv \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$  است که در ابتدا هر کدام از آن ها احتمالی برابر ۰/۲۵ دارند. عمل ها به صورت زیر تعریف می شوند:

$$Action\ 1 : (x_{new}, y_{new}) = (x + \mu, y + \mu)$$

$$Action\ 2 : (x_{new}, y_{new}) = (x + \mu, y - \mu)$$

$$Action\ 3 : (x_{new}, y_{new}) = (x - \mu, y + \mu)$$

$$Action\ 4 : (x_{new}, y_{new}) = (x - \mu, y - \mu)$$

در این عمل ها پارامتر  $\mu$ ، میزان جابجایی از مختصات کنونی است. این پارامتر طوری تنظیم شده است که با پیشرفت الگوریتم و افزایش تکرارها مطابق فرمول (۷) کاهش می یابد تا فضای ممکن برای حرکت با نزدیک شدن به نقطه هدف کوچک تر شود.

$$\mu = \sqrt{\frac{s}{n}} * \left(1 - \frac{iter_{curr}}{iter_{max}}\right) \quad (7)$$

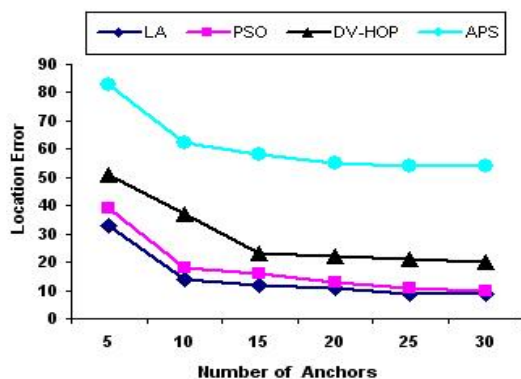
در این رابطه  $s$  مساحت ناحیه مربعی است که حسگرها در آن قرار دارند و  $n$  تعداد حسگرهاست. در واقع  $\sqrt{\frac{s}{n}}$  فاصله مطلوب بین گره ها است.  $iter_{curr}$  شماره تکرار جاری و  $iter_{max}$  حداکثر تعداد تکرارهاست که مقدارش به صورت تجربی به دست می آید.

در تکرار اول یکی از ۴ عمل به صورت تصادفی انتخاب می شود و تخمین اولیه به سمتی که این عمل مشخص می کند جابجا می شود. تابع هدف برای مکان جدید محاسبه می گردد. اگر مقدار تابع هدف کمتر از مقدار قبل بود، به معنی دریافت پاسخ مطلوب از محیط می باشد و به عمل انتخابی براساس رابطه (۱) پاداش داده می شود احتمال سایر عمل ها کاهش می یابد و مطابق رابطه (۲) جریمه می شوند. در غیر این صورت پاسخ نامطلوب از محیط دریافت شده است و احتمال عمل  $a_i$  مطابق رابطه (۳) کاهش و احتمال سایر عمل های خودکار مطابق رابطه (۴) افزایش می یابد. در هر حال، تغییرات به گونه ای صورت می گیرد تا حاصل جمع  $p_i(n)$  همواره ثابت و مساوی یک باقی بماند. الگوریتم در تکرار بعد عملی را که احتمال بیشتری نسبت به سایر عمل ها دارد را انتخاب می کند و مقدار تابع هدف را بدست می آورد. بقیه مراحل مانند قبل طی می شوند. الگوریتم زمانی متوقف می شود که به حداکثر تکرارها برسیم و پارامتر  $\mu$  برابر صفر شود.

#### ۴- ارزیابی کارایی یا نتایج شبیه سازی

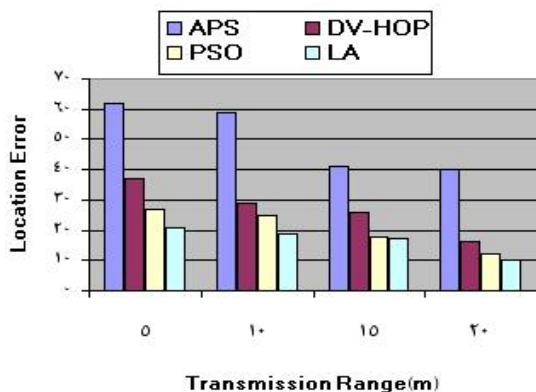
در این بخش به ارزیابی کارایی روش پیشنهادی می پردازیم. روش پیشنهادی با سه روش مکان یابی  $APS(DV-distance)$  و مکان یابی بر اساس الگوریتم PSO [10,13] و DV-Hop مقایسه شده است. PSO یک تکنیک بهینه سازی تصادفی است که بر مبنای جمعیت کار می کند. گروهی از ذرات (راه حل ها) به صورت تصادفی به وجود می آیند و با به روز کردن نسل ها سعی در یافتن راه حل بهینه می نمایند. DV-Hop یک الگوریتم چندگام می باشد که در فاز اول گره های راهنما موقعیت شان را به همه گره های شبکه گسیل می کنند. هر گرهی که موقعیتش مشخص نیست موقعیت دریافتی را ثبت می کند و همچنین حداقل تعداد گام ها را حداقل به سه گره راهنما ثبت می کند. هر وقت که گره راهنمایی مانند  $A_i$  موقعیت راهنمای دیگری مانند  $A_j$  را بدست می آورد، فاصله بین آنها را حساب می کند و آنرا به تعداد گام ها تقسیم می کند و این میانگین فاصله گام را به شبکه گسیل می کند. هر گره ناشناخته ای که این میانگین فاصله گام را می شنود، آنرا برای

تعداد لنگر ها اگرچه باعث کاهش خطای مکان یابی می گردد، اما باعث بزرگتر شدن اندازه شبکه و افزایش هزینه توسعه شبکه می گردد.



شکل (۳): تاثیر تعداد حسگر ها برای خطای مکان یابی

افزایش برد رادیویی یا محدوده انتقال حسگرها در شبکه موجب افزایش تعداد حسگرهای لنگر در محدوده گامی هر حسگر هدف می-شود. شکل (۴) خطای تخمین موقعیت را به عنوان تابعی از برد رادیویی حسگرها در شبکه در هر چهار روش نشان می دهد. در اینجا تعداد حسگر ها ثابت و برابر ۱۰۰ در نظر گرفته شده است.



شکل (۴): خطای مکان یابی برای R های متفاوت

با توجه به مطالب ذکر شده در بخش دوم، الگوریتم خودکار یادگیر را می توان با مقادیر مختلف پارامترهای a و b اجرا نمود. میانگین خطای مکان یابی برای مقادیر متفاوتی از پارامترهای a و b در جدول (۲) نشان داده شده است. همانطور که در جدول مشاهده می شود میانگین خطا در همه حالت ها بجز حالتی که مقدار b برابر با ۰/۱ است، قابل قبول است.

تبدیل تعداد گام به فاصله ها استفاده می کند. سپس عمل مثلث بندی را بر روی سه یا بیشتر گره راهنما انجام می دهد تا موقعیتش را تخمین بزند.

برای شبیه سازی، گره های حسگر در یک محیط با ابعاد  $m \times m$  قرار گرفته اند. پارامترهای مورد نیاز در شبیه سازی به همراه مقادیرشان در جدول (۱) نشان داده شده است. مهمترین شاخصی که در ارزیابی کارایی روش های مکان یابی مورد توجه و بررسی قرار می گیرد، میانگین خطای مکان یابی می باشد. مقدار این خطا در شبیه سازی و ارزیابی مطابق فرمول زیر محاسبه شده است.

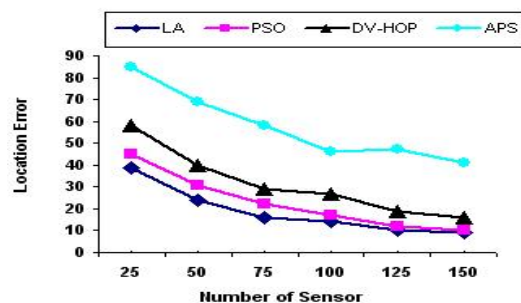
$$LE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}$$

که  $(x, y)$  مکان واقعی و  $(x_i, y_i)$  مکان تخمینی گره  $i$  می باشد.

جدول (۱) پارامتر های شبیه سازی

پارامتر	مقادیر
تعداد حسگر ها	۱۵۰، ۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵، ۵۰، ۲۵
تعداد لنگر ها	۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪، ۵۰٪
برد رادیویی	۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵
پارامتر پاداش	۰/۸
پارامتر جریمه	۰/۲
ماکزیمم تکرار	۲۰۰

خطای مکان یابی برای تعداد متفاوتی از گره های شبکه در شکل (۲) نشان داده شده است. وقتی ۱۰٪ از کل حسگر ها لنگر باشند، تاثیر تعداد حسگر ها (بین ۲۵ تا ۱۵۰) به عبارت دیگر تراکم شبکه بر خطای مکان یابی در چهار روش مقایسه شده است. با توجه به شکل درمی یابیم که در روش پیشنهادی (LA) میانگین خطای مکان یابی نسبت به روش های دیگر کمتر است.



شکل (۲): خطای مکان یابی برای تعداد متفاوت گره های شبکه

شکل (۳) تاثیر تعداد لنگر ها بر خطای مکان یابی را نشان می دهد. تعداد حسگر ها در این شکل ثابت و برابر ۱۰۰ می باشد. با توجه به شکل در می یابیم که خطای مکان یابی با افزایش تعداد لنگر ها کاهش می یابد و روش پیشنهادی نسبت به روش های دیگر با هر تعداد از لنگر ها خطای کمتری را نشان می دهد. لازم به توضیح اینکه افزایش

computing (New York, NY, USA), ACM Press, pp. 201-212, 2003

- [7] V. Tam, K.Y. Cheng, and K.S Lui, "A descend- based evolutionary approach to enhance position estimation in wireless sensor networks", Proceedings of the 18th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'06), Washington, D.C, pp. 568-574, 2006.
- [8] K. Cheng, V. Tam, and K. Lui, "Improving aps with anchor selection in anisotropic networks", In Proceedings of the International Conference on Networking and Services (ICNS'05), 2005.
- [9] A.A Kannan, Guoqiang Mao, and B. Vucetic, "Simulated annealing based localization in wireless sensor network", Proceedings of the 30th IEEE Conference on Local Computer Networks, 2006.
- [10] P. Chuang and C. Wu, "An Effective PSO-based Node Localization Scheme for Wireless Sensor Networks", Proceeding of Ninth International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, 2008.
- [11] K. S. Narendra and M. A. L. Thathachar, "Learning Automata: An Introduction", Prentice Hall, 1989
- [12] L. Hu and D. Evans, Localization for mobile sensor networks. In Tenth International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'04), pages 45-57, Philadelphia, Pennsylvania, USA, Sept. 2004
- [13] A. Gopkumar and L. Jacob, "Localization in Wireless Sensor Networks using Particle Swarm Optimization", In Proceedings of the IEEE International Conference on Wireless, Mobile and Multimedia Networks, pp 227-230, 2008

جدول (۲): میانگین خطای مکان یابی برای مقادیر متفاوتی از

پارامترهای a و b

a \ b	۰.۲	۰.۴	۰.۶	۰.۸
۰.۰۱	۴۲.۲۵	۵۸.۰۱	۸۷.۰۶	۹۸.۹۲
۰.۱	۲۵.۰۲	۲۸.۲۶	۲۶.۲۸	۲۳.۲۴
۰.۲	۲۲.۹۹	۲۴.۶۹	۲۲.۸۲	۲۲.۲۴

## ۵- نتیجه گیری و راه کارهای آتی

در این مقاله یک روش جدید برای مکان یابی در شبکه های حسگر بی-سیم با استفاده از الگوریتم تقویتی خودکار یادگیر ارائه شد. نتایج شبیه سازی نشان داد که روش پیشنهادی میانگین خطای کمتری نسبت به روش های دیگر داشت، همچنین دقت تخمین مکان حسگرها بدون نیاز به سخت افزار و هزینه اضافی در روش پیشنهادی افزایش می یابد. براساس نتایج به دست آمده روش پیشنهادی در مقایسه با روش های مکان یابی دیگر دارای دقت بالاتری است. استفاده از خودکار یادگیر با ساختار پیوسته در حل مساله مکان یابی به عنوان کار پژوهشی در آینده مطرح می شود. انتظار می رود که با استفاده از این ساختار بتوان خطای مکان یابی را بیشتر کاهش داد و دقت تخمین مکان حسگرها را بهبود بخشید.

## سپاسگزاری

با تشکر از دکتر جابر کریم پور و دکتر آریز عیسی زاده که مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند.

## مراجع

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cyirci, "Wireless sensor networks: A survey," Computer Networks, vol. 38, no. 4, pp. 393-422, March 2002.
- [2] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. In Proceedings of the IEEE INFOCOM, pp. 775-784, March 2000.
- [3] M. Vossiek, L. Wiebking, P. Gulden, J. Wiegardt, C. Hoffmann, and P. Heide, "Wireless local positioning", IEEE Microwave Magazine, vol. 4, no. 4, pp. 77-86, 2003.
- [4] T. He, C. Huang, B. M. Blum, J.A. Stankovic and T. Abdelzaher, "Range-free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks", MobiCom 2003.
- [5] D. Niculescu and B. Nath, "Ad hoc positioning system (APS) ", In IEEE Globecom, pp. 2926 -2931, 2001.
- [6] Y. Shang, W. Ruml, Y. Zhang, and M.P.J. Fromherz, "Localization from mere connectivity", MobiHoc '03: Proceedings of the 4th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking &