دوره دهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۶

مجله فناوری اطلاعات در طراحی مهندسی
Information Technology in Engineering Design
http://ited.sinaweb.net

# ارائه روشی جهت مسیریابی هوشمند گره‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی مبتنی بر نظریه بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم زنبور عسل

**مونا کاردهی‌مقدم* (۱)  مسعود نیازی ترشیز (۲)**

**(۱) گروه مهندسی کامپیوتر، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران ***

**(۲) گروه مهندسی کامپیوتر، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران**

**چکیده:**

مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مهمترین چالش در این نوع از شبکه‌ها است. مکان‌یابی و مسیریابی بهینه گره‌ها دو راه حل شناخته شده برای کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم هستند که به طور گسترده‌ای مورد بررسی محققین و پژوهشگران قرار گرفته‌اند. محققین همواره به دنبال راهکاری بوده‌اند تا بتوانند مصرف انرژی را کاهش و در نتیجه طول عمر شبکه بی‌سیم را افزایش دهند. تکنیک‌ها و روش‌های مختلفی برای این منظور تاکنون ارائه شده است که هر کدام دارای نقاط ضعف و قوت مخصوص به خود است. در این مقاله، به افزایش طول عمر شبکه و بهینه‌سازی مصرف انرژی با استفاده از روش ترکیبی الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم زنبورعسل پرداخته‌ایم. این تحقیق دربرگیرنده ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ تکرار است. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که الگوریتم ترکیبی، طول عمر شبکه را به میزان قبل توجهی افزایش و مصرف انرژی را کاهش داده و حتی در برخی شرایط خاص، بهبود مصرف انرژی نسبت به روش ازدحام ذرات حاصل شده است. تعداد گره‌های از کار افتاده در اغلب موارد حدوداً کمتر از روش PSO است.

**واژه‌های کلیدی:** بهینه‌سازی ازدحام ذرات، روش زنبور عسل، شبکه حسگر بی‌سیم، مسیریابی.

* عهده دار مکاتبات

**نشانی:** گروه مهندسی کامپیوتر، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

**تلفن:** ۰۵۱۳۸٦٤۸۲۳۷  **پست الکترونیکی:** mona_kardehi@mshdiau.ac.ir

## ۱- مقدمه

با توجه به پیشرفت‌های اخیر تکنولوژی، در زمینه‌ی طراحی مدارهای کوچک‌سازی‌شده، شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کاربردهای بسیار زیادی در زمینه‌های مختلفی از جمله پزشکی، هواشناسی، محیط زیست، صنعت، نظامی، تجارت و غیره دارند. تلاش‌های بسیاری برای افزایش طول عمر شبکه و بهینه سازی مصرف انرژی از جمله استفاده از روش الگوریتم بهینه سازی ذرات صورت گرفته اما این روشها از لحاظ نتایج بهینه سازی‌مصرف انرژی و بقای طول عمر شبکه چندان کافی نبوده است.

هدف اصلی در این مقاله مسیریابی بهتر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، جهت کاهش مصرف انرژی است که منجر به افزایش طول عمر شبکه می‌گردد. لذا به بررسی الگوریتم‌های افزایش‌دهنده طول عمر شبکه پرداخته و راهکارهایی در جهت بهینه‌سازی مسیریابی و مصرف انرژی در این راستا ارائه داده‌ایم.

در واقع برای بهبود الگوریتم ازدحام ذرات در جهت انتخاب بهترین مسیر، به ترکیب این الگوریتم با الگوریتم بهینه‌ساز زنبور عسل پرداخته‌ایم تا بتوانیم مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی سیم را بهبود بخشیده و طول عمر شبکه را افزایش دهیم.

لزوم کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به دلیل تعداد زیاد گره‌های حسگر، اندازه کوچک و روش قرارگیری اقتضایی و همچنین معمولاً به دلیل به کارگیری این نوع شبکه‌ها درمحیط‌های خشن و غیرقابل دسترس است که امکان شارژ مجدد یا تعویض گره‌های حسگر وجود ندارد. لذا مهمترین مخاطره در طراحی شبکه‌های حسگر بی‌سیم کاهش دادن مصرف انرژی است تا طول عمر شبکه افزایش یابد. بنابراین لحاظ نمودن الگوریتم‌های ذخیره انرژی در طراحی شبکه‌های حسگر با عمری طولانی، امری حیاتی است. در این مقاله با استفاده از ترکیب روش الگوریتم زنبور عسل با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات هنگام جستجو در فضای جستجو، به نتایج بهتری رسیدیم.

با استفاده از ترکیب این دو روش توانسته‌ایم مشکل اساسی روش PSO را حل نماییم. روش PSO علیرغم سادگی و سرعت بالا این مشکل مهم را دارد که زودتر از موعد مقرر به جواب می‌رسد و دچار جواب زودرس یا کمینه محلی می‌گردد [۱و۲].

این مساله برمی‌گردد به عدم جستجوی بهینه فضای جستجو، لذا با ترکیب این روش با الگوریتم زنبور عسل فضای جستجو بیشتر و بهتر بررسی می‌شود.

در مجموع استفاده از روش پیشنهادی باعث بهبود مصرف انرژی روش ازدحام ذرات می‌شود و قابلیت افزایش طول عمر شبکه و بهینه‌سازی مسیریابی و مصرف انرژی و همچنین تعداد گره‌های از کار افتاده نیز بجز در یک بازه زمانی شروع کار نسبت به روش ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک و ... بسیار بهتر بوده است.

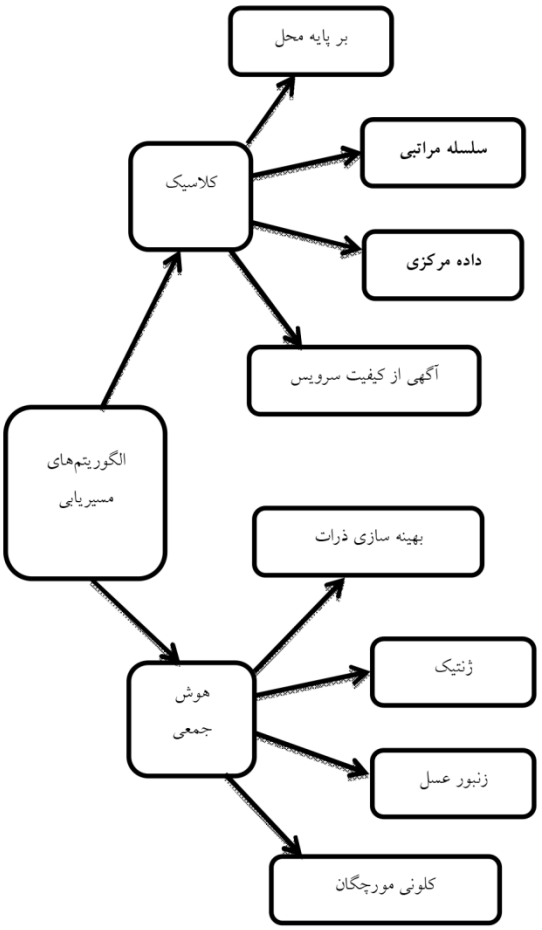
در ادامه به معرفی ساختار کلی مقاله می‌پردازیم که بدین گونه است، در بخش دوم کارهای انجام شده در گذشته مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. بخش سوم ساختار کلی روش ترکیبی را بیان کرده است. بخش چهارم نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی را با نتایج برخی از روش‌های قبل مقایسه و ارزیابی کرده است. بخش پنجم به جمع بندی نهایی و پیشنهادهایی برای کارهای آتی پرداخته است.

## ۲- مروری بر کارهای گذشته

محققان بسیاری تا به امروز سعی بر این داشتند که بتوانند با استفاده از الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت راهکارهایی را جهت مسیریابی بهینه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم در راستای کاهش مصرف انرژی و بقای طول عمر شبکه انجام دهند. بر این اساس دسته بندی‌هایی در نظر گرفته شده که در شکل ۱ مشاهده می‌کنید.

در این راستا در مقاله [۱] الگوریتم‌های ارائه شده هماهنگی بهینه‌ای با انرژی مصرفی گره‌ها ندارند و اکثر آنها

زمانبر هستند بدین مفهوم که در تحویل داده تاخیرهای زیادی دارند، این تأخیر در ارسال داده به جلو، خودش، به تعداد گره‌های موجود در مسیر انتقال داده از منبع تا مقصد وابسته هستند. بنابراین هر اندازه تعداد گره‌های منبع تا مقصد بیشتر باشد می‌تواند میزان تاخیرات را کاهش دهد که این امر باعث کاهش مصرف انرژی و زمان بقای شبکه را افزایش می‌دهد.




شکل ۱- الگوریتم‌های مسیریابی الهام گرفته از طبیعت [۱-٤]

محققین [۲] روشی برای کاهش انرژی مصرفی براساس بروز رسانی محلی ارائه داده‌اند به این صورت که ایستگاه متحرک محل قرارگیری خود را به تمام حسگرها، همه پخشی می‌کنند محققین [۳] برای از بین بردن سربار حاصل، از بروز رسانی محل ایستگاه استفاده کردند که این امر باعث افزایش طول عمرشبکه می‌گردد. محققین [٤] به خاطر کوتاه شدن فاصله بین ایستگاه متحرک با هر گره، توانستند انرژی مصرفی شبکه را بهینه و در نتیجه طول عمر شبکه را افزایش دهند. محقق [۵] روش مکان یاب را معرفی کرد. در این روش تعداد زیاد بروز رسانی، باعث هدر رفتن انرژی مکان‌یاب‌ها می‌شود. در ادامه نویسنده [٦] بر پایه بهینه‌سازی کلونی مورچگان یک تکنیک هوشمند بروز رسانی جداول مسیریابی را بخاطر درک بهتر گره‌های از دست رفته و یک مکانیزم ارسال سیل آسای داده محدود شده را ارائه کرده‌اند که روال مسیریابی بهینه گردد، در حالی که پیچیدگی الگوریتم آنها نسبت به آنچه موجود بوده افزایش نداشته است ولی با این حال انرژی کل شبکه را بطور مؤثر کاهش داده و زمان بقای شبکه را افزایش داده‌اند. محققین [۷] روشی مبتنی بر الگوریتم ازدحام ذرات ارائه کردند، که در آن مسیر بهینه برای ارتباط بین گره‌ها با در نظر گرفتن توازن بار انتخاب می‌شودو بدین ترتیب انرژی مصرفی گره‌ها کاهش یافته و باعث بقای عمر شبکه می‌گردد. نویسنده [۸] روشی مبتنی بر خوشه‌بندی با الگوریتم ژنتیک برای کاهش مصرف انرژی ارائه داد و محقق [۹] ازکلونی زنبور عسل برای مکان‌یابی‌گره‌ها در شبکه حسگر بی‌سیم استفاده کرده‌اند که منجر به کاهش مصرف انرژی شده است.

روش بهینه‌سازی ازدحام ذارت نخستین بار توسط کندی و ابرهارت [۱۰] ارائه شد. روش بهینه‌سازی ازدحام ذارت ((PSO شامل یک مجموعه ذرات (یک اجتماع) Np عضوی است. این روش یک تکنیک سراسری بهینه‌سازی است که با استفاده از آن می‌توان با مسائلی که جواب آنها یک نقطه یا سطح در فضای $n$ بعدی می‌باشد، برخورد نمود. در این چنین فضایی، فرضیاتی مطرح می‌شود و یک سرعت ابتدایی به آنها اختصاص داده می‌شود، همچنین کانال‌های ارتباطی بین ذرات درنظر گرفته می‌شود. سپس این ذرات در فضای پاسخ حرکت می‌کنند، و نتایج حاصله بر مبنای یک «ملاک شایستگی» پس از هر بازه زمانی محاسبه می‌شود، جائیکه هر ذره Pi

می‌تواند یک راه حل برای مسئله بهینه‌سازی D بعدی ما باشد. موقعیت هر ذره Pi در فضای چند بعدی توسط Xi و سرعت آن توسط Vi معرفی می‌شود. این دو بردار به ترتیب بصورت $X_i=[X_{i1}, X_{i2,...,} X_{iD}]$ و $V_i=[V_{i1}, V_{i2,...,} V_{iD}]$ زیر بیان می‌شوند. برای ارزیابی و تخمین ارزش هر ذره از یک تابع واحد و مشترک شایستگی استفاده می‌شود. بهترین موقعیت ذره $P_i$ با نماد $P_{best-i}$ و بهترین ذره موجود (شایسته‌ترین آن‌ها) با $P_{Gbest}$ معرفی می‌گردد. در هر تکرار Xi و $V_i$، در هر بعد D، باید توسط معادلات زیر بروز گردند:

(۱)

$$V_{id}(k) = wV_{id}(k-1) + c_1r_1[X_{Pbest-i} - X_{id}(k-1)] + c_2r_2[X_{Gbest-d} - X_{id}(k-1)]$$

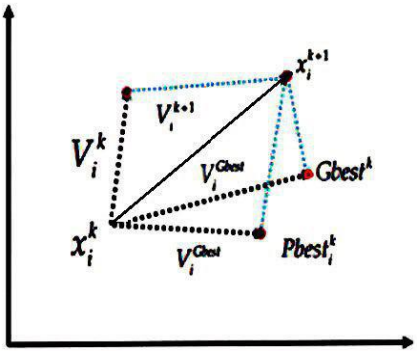
(۲)

$$X_{id}(k) = X_{id}(k-1) + V_{id}(k)$$

در این معادلات $w$ وزن اینرسی و $c_1r_1$یا $c_2r_2$ فاکتورهای سرعت بخشیدن به عملیات بهینه‌یابی می‌باشند که در آن‌ها $c_2, c_1$ ثابت‌های غیر منفی است که به نوعی وزن یا ارزش بردارها را مشخص می‌کنند و $r_2, r_1$ اعداد تصادفی متفاوت، تولید شده توسط تابع توزیع نرمال بین صفر و یک می‌باشند.

بروز رسانی این توابع تا زمانی‌که به یک جواب قابل قبول$P_{Gbest}$ یا تعداد مشخصی تکرار دست یافته، ادامه می‌یابد. این الگوریتم می‌تواند در تکرار اول به یک مقدار$P_{Gbest}$ قابل قبول دست یابد و یا پس از چند تکرار به یک مقدار مناسب نزدیک شود.

رابطه ۲ میزان تغییرات مکان هر گره را در هر تکرار نشان می‌دهد. همان طوری که از رابطه ۱ مشخص است میزان تغییر بردار حرکت هر ذره به سه عامل بستگی دارد: بردار فعلی حرکت آن، بهترین همسایه آن گره و بهترین جواب پیدا شده در کل مجموعه شکل ۱ نشان می‌دهد که بردار حرکت هر ذره، برآیند این سه بردار است.




شکل ۲- میزان جابه‌جایی هر عنصر در جهت بردار برآیند ۳ بردار (بردارهای حرکت فعلی، موقعیت بهترین همسایه و موقعیت بهترین عنصر پیدا شده در کل ناحیه)

## ۳- روش پیشنهادی

اساس روش پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات است ولی برای بروز رسانی عناصر در آن از الگوریتم زنبور کمک گرفته شده است. یعنی برای محاسبه$Pbest_i$ یعنی بهترین عنصر هر همسایگی از الگوریتم زنبور عسل استفاده شده است. ضمن اینکه بردار بهترین همسایه هم هربار استفاده می‌شود. یعنی سه بردار روش ازدحام ذرات به چهار بردار تبدیل شده است. این الگوریتم دو ویژگی مهم دارد یکی این‌که بهترین عنصر را در همسایگی بزرگتر و با دقت بیشتر جستجو می‌کند و دیگر این‌که از افتادن در کمینه محلی و اشتباه در انتخاب بهترین همسایگی تا حد زیادی جلوگیری می‌کند. در ابتدا به توضیح الگوریتم زنبور عسل می‌پردازیم.

### ۳-۱- روش بهینه سازی زنبور عسل:

الگوریتم زنبورشامل گروهی مبتنی بر الگوریتم جستجو است که اولین بار توسط فم و همکاران [۱۱]توسعه یافت. این الگوریتم شبیه‌سازی رفتار جستجوی غذای گروه‌های زنبور عسل است. این الگوریتم تقلید رفتار جستجوگری مواد غذایی زنبورهای عسل است. این الگوریتم شبیه سازی رفتار جستجوی غذای گروه‌های زنبور عسل است. در نسخه ابتدایی این الگوریتم، نوعی از جستجوی محلی انجام می‌دهد که با جستجوی تصادفی

ترکیب شده و می‌تواند برای بهینه سازی ترکیبی (زمانی که می‌خواهیم چند متغیر را همزمان بهینه کنیم) یا بهینه سازی تابعی به کار رود.

الگوریتم زنبور عسل هر نقطه را در فضای پارامتری متشکل از پاسخ‌های ممکن به عنوان منبع غذا تحت بررسی قرار می‌دهد. زنبورهای دیده‌بان (کارگزاران شبیه‌سازی شده) به صورت تصادفی فضای پاسخ‌ها را ساده می‌کنند و به وسیله‌ی تابع شایستگی کیفیت، موقعیت‌های بازدید شده را گزارش می‌دهند. جواب‌های ساده شده رتبه‌بندی می‌شوند، و دیگر زنبورها، نیروهای تازه‌ای هستند که فضای پاسخ‌ها را در پیرامون خود برای یافتن بالاترین رتبه محل‌ها جستجو می‌کنند.

الگوریتم به صورت گزینشی دیگر گلزارها را برای یافتن نقطه‌ی بیشینه‌ی تابع شایستگی جستجو می‌کند. بعد از قرارگرفتن اولیه زنبورها در فضای جستجو، به طور خلاصه، الگوریتم زنبور عسل را می‌توان به چهار فاز تقسیم کرد.

فاز اول تخمین میزان غذا در مکان‌های فعلی است که در حقیقت متناظر با تابع شایستگی می‌باشد.

فاز دوم یافتن مکان‌های جدید با توجه به مکان‌های مناسب قبلی می‌باشد.

فاز سوم یافتن مکان‌های جدید به‌صورت تصادفی (بدون توجه به مکان‌های قبلی) است و بالاخره درفاز چهارم تعیین بهترین مکان‌های پیدا شده می‌باشد. فاز دوم مبتنی بر تابع شایستگی است و مکان‌های جدید را براساس مکان‌های قبلی که تابع شایستگی بالاتری دارند انتخاب می‌کند.

برای جلوگیری از افتادن در کمینه محلی و برای جستجوی بهتر ناحیه، درفاز سوم محل‌های جدید جستجو به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود تا از افتادن در کمینه محلی تا حدامکان جلوگیری شود و تنوع جستجو حفظ شود. در حقیقت فاز سوم الگوریتم زنبور عسل فاز کلیدی مورد استفاده در الگوریتم پیشنهادی ما است چرا که در این فاز است که فضای جستجو (بدون توجه به تابع شایستگی) جستجو می‌شود و در حقیقت این فاز است که گوناگونی یا تنوع جستجو را حفظ می‌کند.

### ۳-۲- تابع هزینه مورد استفاده (شبیه ساز مصرف انرژی)

هم در روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات و هم روش زنبور عسل آنچه که تعیین کننده است انتخاب درست تابع شایستگی یا همان تابع هدف است. یعنی معیاری که مشخص کننده بهترین موقعیت هر گره در شبکه باشد. در اینجا تابع هزینه یا میزان انرژی مصرفی به ازای هر چیدمان از گره‌ها استفاده می‌شود. در این بخش به بررسی ملاک‌های مختلف بهترین موقعیت برای عنصر یا گره‌ها در شبکه حسگر بی‌سیم پرداخته شده است. تابع شایستگی در اینجا تابع هزینه یا میزان مصرف انرژی است یعنی در عمل هر چه مقدار هزینه یک عنصر کمتر باشد آن عنصر بهتر است. رابطه زیر به‌عنوان تابع هزینه انتخاب شده است. در برخی روش‌ها که مبتنی بر خوشه بندی است تابع شایستگی را بر اساس فاصله هر خوشه با عناصر زیرخوشه اش محاسبه می‌کنند ولی در اینجا مستقیماً از تابع مصرف انرژی استفاده می‌کنیم.

طبق تحقیقات مختلف مانند [۱۲] میزان مصرف انرژی به عوامل مختلفی بستگی دارد. که در این‌جا از یکی از توابع رایج استفاده شده است. مقدار اول این رابطه یعنی $g_k$ مقدار توان مصرفی هر گره $k$ است. (۳)

$$\emptyset = (g, r_k) = \sum_{k=1}^{n} g_{k^2} + r_k \left\{ \left( max \left[ \left( \beta^2 - e^T A \sum_n^{-1} A.e \right), O \right] \right)^2 + \sum_{k=1}^{n} (max[-g_k, O])^2 \right\}$$

رابطه تابع هزینه فوق در برخی مقالات مانند روش [۱۳]

تشریح شده است. توضیحات پارامترهای این تابع در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- تشریح پارامترهای تابع هزینه (مصرف انرژی)

| توضیحات | پارامتر |
|---|---|
| تعداد عناصر شبکه | N |
| ضریب ثابت تابع کاهش انرژی | $r_k$ |
| | |
| ماتریس قطری N×N که هر عنصرآن ضریبی از $g_k$ است | A |
| مجموع کاهش انرژی برای ارتباط با دیگران | e |
| توان مصرفی هر گره مجزا | g |

در ادامه الگوریتم ازدحام ذرات که با روش زنبور عسل بهبود یافته، نمایش داده شده است. یکی از مشکلاتی که روش ازدحام ذرات دارد، همگرا شدن سریع یا افتادن در کمینه محلی می‌باشد. این روش یکی از سریعترین روش‌های بهینه‌سازی می‌باشد ولی مشکل اصلی آن مانند بسیاری از روش‌های دیگر جستجو نشدن کامل فضای جستجو و تولید جوابی است که لزوماً بهترین جواب ممکن نیست. در این تحقیق با تغییراتی در الگوریتم پایه بهینه سازی ازدحام ذرات، فضای جستجو را بیشتر بررسی می‌کنیم. یعنی هنگامی که یک عنصر در حال بررسی و بروز رسانی و حرکت در فضای جستجو است. برای هر عنصر یک همسایگی در نظر می‌گیریم و در این همسایگی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی زنبور عسل بهترین عنصر ناحیه‌ای که در این تحقیق Hbest نام دارد شناسایی شده و این عنصر نیز در حرکت و جابه‌جایی عنصر در ناحیه شرکت داده می‌شود. در حقیقت روش پیشنهادی تغییر یافته الگوریتم PSO است ولی در داخل این الگوریتم از روش HBO ساده‌ای هم استفاده شده است که این الگوریتم، ناحیه محلی نسبتاً بزرگ اطراف هر عنصر را بررسی و بهترین عنصر آن ناحیه را شناسایی می‌کند. این عنصر نه لزوماً همان Pbest است و نه Gbest. در ادامه، مراحل این الگوریتم بیان شده است.

۱. مقداردهی اولیه همه N ذره (عناصر یا گره‌ها) و محاسبه تابع شایستگی برای هر کدام از ذرات
۲. مقداردهی اولیه بهترین عنصر محلی $Pbest_i$ و بهترین عنصر در کل ذرات $Gbest_i$ حلقه اصلی، که برای همه ذرات ($i=1،2،....N$) انجام می‌شود.
۳. یافتن بهترین جواب اطراف عنصرجاری، یعنی بهترین عنصر در ناحیه جستجو توسط $(Hbest_i)HBO$
٤. حلقه اصلی برنامه (مرحله ٤ تا ۱۰):
۵. تغییر سرعت و مکان هر کدام از ذرات بر اساس رابطه بروزرسانی زیر:

(٤)

$$V_{id}(k) = wV_{id}(k-1) + c_1r_1[X_{Pbest-i} - X_{id}(k-1)] + c_2r_2 [X_{Gbest-d} - X_{id}(k-1)] + c_3r_3 [X_{Hbest-i} - x_{id}(k-1)]$$

$$X_{id}(k) = X_{id}(k-1) + V_{id}(k)$$

٦. محاسبه میزان شایستگی هر ذره
۷. مقایسه شایستگی هر کدام از ذرات با مقدار شایستگی محلی $Pbest_i$(یعنی هر عنصرجاری با بهترین همسایه‌اش مقایسه شود) اگر ذره جاری بهتر از $Pbest_i$ باشد جایگزین آن می‌شود.
۸. محاسبه $Hbest_i$ در ناحیه‌ی بزرگی از همسایگی عنصر جاری با الگوریتم زنبور عسل.
۹. مقایسه شایستگی هر کدام از ذرات همسایگی با مقدار شایستگی $Hbest_i$(یعنی هر عنصرجاری با بهترین همسایه‌اش در ناحیه بزرگ جستجوی الگوریتم زنبور عسل مقایسه شود) اگر ذره جاری بهتر از $Hbest_i$ است جایگزین $Hbest_i$ شده و در غیر این‌صورت به مرحله ۱۰ می‌رود.
۱۰. اگر ذره جاری بهتر از $Gbest_i$ باشد، جایگزین $Gbest_i$ می‌شود.
۱۱. اگرحلقه به تعداد معینی تکرار شده باشد یا $Gbest_i$ قابل قبول باشد، حلقه به اتمام می‌رسد. در

غیراین‌صورت حلقه از مرحله ٤ دوباره تکرار می‌شود.

۱۲. پس از خروج از حلقه، $Gbest_i$ به عنوان جواب انتخاب می‌شود.

قسمت مهم الگوریتم پیشنهادی مرحله ٤ آن است که در حقیقت تغییر یافته رابطه ۲ در قسمت قبل است. اضافه شدن مقدار Hbest در این مرحله به فرمول مهمترین تغییر الگوریتم نسبت به روش ازدحام ذرات است. مقدار Hbest در داخل حلقه هربار در مرحله ۷ انجام می‌شود.

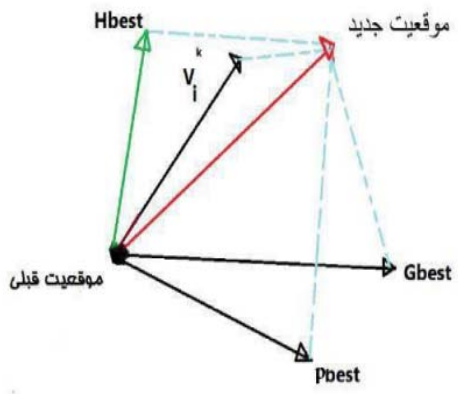
همان طور که مشخص است در اینجا یک مقدار $c_3r_3[X_{Hbest-i} - X_{id}(k-1)]$ به رابطه ازدحام ذرات یعنی رابطه ۱ اضافه شده است. در هر مرحله عنصر Hbest توسط الگوریتم زنبور عسل شناسایی می‌شود. در حقیقت استفاده از الگوریتم زنبور عسل به الگوریتم بهینه سازی ذرات کمک می‌کند تا ناحیه را بهتر و بیشتر جستجو کند.

همان طوری که در شکل ۲ نشان داده شده است. بردارحرکت و سرعت هر عنصر در PSO برآیند ۳ بردار است. یک بردار موقعیت خود عنصر است؛ بردار دیگر بهترین همسایه آن عنصر است و مورد سوم بهترین موقعیت در کل ناحیه جستجو شده تاکنون است.

در روش پیشنهادی بردار چهارمی هم اضافه می‌کنیم که بهترین عنصر پیدا شده توسط الگوریتم زنبور عسل در ناحیه‌ای بزرگ از همسایگی هر عنصر است.

همان طوری‌که قبلاً هم گفته شد، فاز سوم الگوریتم زنبور عسل به‌صورت تصادفی فضای جستجو را بررسی می‌کند. این‌کار باعث حفظ تنوع جستجو و جلوگیری از افتادن در کمینه محلی می‌شود و مهمترین مشکل روش ازدحام ذرات را مرتفع می‌کند. در جدول ۲ هر کدام از این بردارها و رابطه آن با الگوریتم تشریح شده است.

در حقیقت می‌توان گفت که عنصر جاری به سمت برآیند ٤ بردار فوق می‌رود که ۳ بردار آن بردار PSO است. در اینجا بردار چهارمی‌هم وجود دارد که باید در کنار سه بردار دیگر در نظر گرفته شود. یعنی استفاده از الگوریتم زنبور عسل باعث تغییر در جهت حرکت و میزان جابه‌جایی عنصر در جهت و موقعیت متفاوت از روش بهینه سازی ازدحام ذرات می‌گردد. شکل ۲ برایند ٤ بردار شامل ۳ بردار شکل ۲ و بردار جدید یعنی بهترین عنصر پیدا شده توسط الگوریتم زنبور عسل را نشان می‌دهد.




شکل ۳- میزان جابه‌جایی هر عنصر در جهت بردار برآیند ٤ بردار (بردارهای حرکت فعلی، موقعیت بهترین همسایه و موقعیت بهترین عنصر پیدا شده در کل ناحیه که مربوط به PSO می‌باشد و بردار جدید که مربوط به Hbest می‌باشد)

همان طور که از مقایسه بین شکل ۲ و ۳ قابل مشاهده است؛ استفاده از روش پیشنهادی باعث تغییر جهت و اندازه (سرعت) بردار جابه‌جایی جدید می‌شود. لذا روش جدید، باعث تغییراتی در جابه‌جایی ذرات در محیط جستجو می‌شود که این تغییرات منجر به رسیدن به نتایج بهتری شده است. به‌طور کلی روش پیشنهادی یعنی ترکیب الگوریتم زنبور با PSO سه تفاوت دارد که دو مورد اول مزیت آن نسبت به روش PSO است.

- احتمال افتادن در کمینه محلی کمتر شده؛ زیرا فضای جستجو بزرگتر و بیشتر بررسی می‌شود.
- با تعداد کمتری تکرار می‌توان به جواب قابل قبول رسید.
- استفاده از الگوریتم زنبور در داخل PSO کمی‌سرعت کلی محاسبات را کم می‌کند.

البته با توجه به اینکه روش‌هایی مانند PSO و الگوریتم

زنبور را می‌توان به‌صورت موازی شبیه سازی کرد به راحتی می‌توان کاهش سرعت را با پیاده سازی به‌صورت جستجوی موازی برطرف کرد.

حال با استفاده از یک مثال به تشریح روش پیشنهادی می‌پردازیم: معیار انتخاب یک گره برای مسیر یابی مبتنی بر تابع هزینه می‌باشد، تابع هزینه در حقیقت نشان دهنده میزان انرژی مصرف شده هنگام انتقال داده بین یک گره با گره‌های همسایه است. در شکل ٤-الف یک گراف از گره‌ها نشان داده شده است. هزینه یا انرژی مصرفی در این لحظه به‌صورت اعداد نمایش داده شده روی یال‌ها می‌باشد.

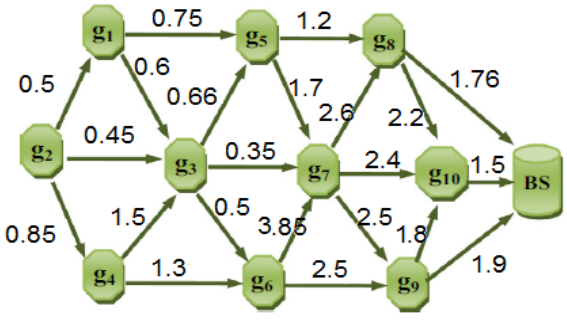
مثلاً میزان انرژی مصرفی برای انتقال از g1 به g5 برابر با ۰.750 ژول است در حالی که این انرژی برای انتقال از g1 به g3 برابر با 0.6 است. معنای این جمله آن است که اگر گره g1 صرفاً دو همسایه خود را در نظر بگیرد بهترین همسایه‌اش همان g3 است لذا گره g3 را برای مسیر بعدی انتخاب می‌کند. جدول ۳ نشان دهنده گره‌های قابل انتخاب برای هر گره شبکه شکل ٤-الف می‌باشد.

جدول ۲- تشریح پارامترهای محاسبه موقعیت جاری

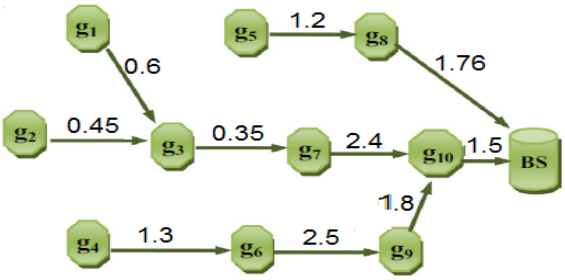
| رابطه | توضیحات |
|---|---|
| $X_{id}(k) = X_{id}(k-1) + V_{id}(k)$ | موقعیت جدید هر عنصر یعنی $X_{id}(k)$ به موقعیت قبلی عنصر یعنی $X_{id}(k-1)$ و سرعت جاری آن یعنی $V_{id}(k)$ ارتباط دارد |
| $c_1 r_1[X_{Pbest-i} - X_{id}(k-1)]$ | سرعت جاری هر عنصر به بهترین همسایه آن عنصر یعنی $X_{Pbest-i}$ ارتباط دارد؛ لذا به سمت آن همسایه می‌رود |
| $c_2 r_2[X_{Gbest-d} - X_{id}(k-1)]$ | سرعت جاری هر عنصر به بهترین عنصر پیدا شده تاکنون یعنی $X_{Gbest-d}$ بستگی دارد؛ لذا به سمت بهترین عنصر می‌رود |
| $c_3 r_3[X_{Hbest-i} - X_{id}(k-1)]$ | سرعت جاری هر عنصر به بهترین عنصر پیدا شده توسط الگوریتم زنبور عسل یعنی $X_{Hbest-i}$ بستگی دارد؛ لذا به‌سمت آن عنصر می‌رود |

جدول ۳- لیست گره‌های شبکه و همه گره‌های بعدی قابل انتخاب

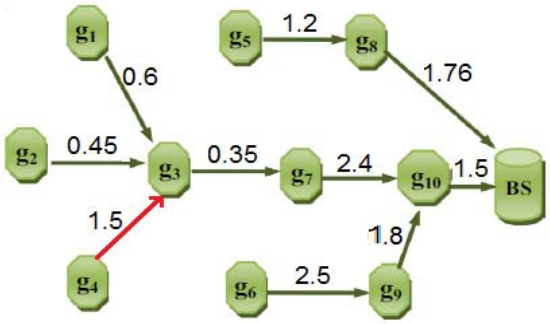
| گره گذرگاه | گره های بعدی |
|---|---|
| $g_1$ | $\{g_3, g_5\}$ |
| $g_2$ | $\{g_1, g_3, g_4\}$ |
| $g_3$ | $\{g_5, g_7, g_6\}$ |
| $g_4$ | $\{g_6, g_3\}$ |
| $g_5$ | $\{g_7, g_8\}$ |
| $g_6$ | $\{g_7, g_9\}$ |
| $g_7$ | $\{g_8, g_9, g_{10}\}$ |
| $g_8$ | $\{g_{10}, BS\}$ |
| $g_9$ | $\{g_{10}, BS\}$ |
| $g_{10}$ | $\{BS\}$ |




الف) گراف گره‌ها و میزان انرژی مصرفی هر انتقال




ب) مسیرانتخاب شده برای گراف با روش ازدحام ذرات




ج) مسیرانتخاب شده برای گراف براساس روش پیشنهادی

شکل ٤- مقایسه مسیریابی روش پیشنهادی و بهبود آن نسبت به روش ازدحام ذرات

در اینجا نحوه تغییر و بهتر شدن مسیریابی را با استفاده از یک مثال خیلی ساده برای روش پیشنهادی بیان شده است؛ که تأثیر روش پیشنهادی در تغییر مسیریابی بر اساس بهترین همسایه نشان داده شده است.

اگر هر گره صرفاً بهترین همسایه‌های خود را برای مسیر یابی لحاظ کند شکل نهایی برای مسیریابی گره‌ها به‌صورت شکل زیر می‌باشد.

در الگوریتم پیشنهادی صرفاً بهترین همسایه برای تعیین مسیر استفاده شده است، در حالی که اگر در ناحیه همسایگی هر گره یک جستجو دیگر (جستجوی زنبور عسل) داشته باشد مسیر انتخابی در ناحیه‌ای بزرگتر جستجو و انتخاب می‌شود.

مثلاً اگر برای گره g4 به‌جای این‌که بهترین همسایه یعنی g6 انتخاب گردد؛ ابتدا در ناحیه بزرگتری از همسایگی g4 جستجو توسط الگوریتم زنبور عسل انجام شده و پس از آن مشخص می‌شود که اگر g3 به‌جای g6 انتخاب شود هزینه انتقال کلی کمتر شده است.

لذا الگوریتم زنبور عسل باعث تغییر مسیر به g3 به‌جای g6 شده که در شکل زیر این تغییر به رنگ متمایزنشان داده شده است.

یعنی با روش عادی الگوریتم بهینه سازی ذرات، مسیر مورد استفاده برای g4 مسیری متفاوت خواهد بود که عبارتست از g4 (g6 (g9 (g10 (BS که هزینه انتقال از این مسیر برابر است با 1.3+2.5+1.8+1.5 یعنی 7.1 ژول می‌باشد.

در حالی که مطابق شکل ٥-ج مسیر انتخاب شده به دلیل جستجوی بیشتر و ناحیه بزرگتر عبارتست از g4 (g3 (g7 (BS (g10 که هزینه این مسیر برابر است با 1.5+0.35+2.4+1.5 یعنی ٧٥.٥ ژول می‌باشد که نشان می‌دهد؛ با مصرف انرژی کمتری انتقال انجام شده است. لذا مسیر نمایش داده شده در شکل ٥- ج بهتر از شکل ٥- ب است.

مثال اخیر یک مثال خیلی ساده از تغییر مسیریابی و بهینه شدن آن براساس تابع هزینه است. در حالت کلی با توجه به هزینه انتقال بین کلیه گره‌ها مسیرهای دیگر نیز بهتر شده و برخی از مسیرهای دیگر نشان داده شده در شکل ٥- ب نیز برای مسیریابی براساس روش پیشنهادی تغییر کرده است. یک نکته مهم که در مثال اخیر که بصورت اتفاقی رخ داده است، آن است که مسیر روش پیشنهادی شامل گره‌هایی مثل g3 و g7 است که این گره‌ها قبلاً هم برای مسیر یابی گره‌ای دیگر مثل g2 استفاده شده‌اند. یعنی در روش پیشنهادی با تغییر مسیر برخی گره‌ها بیشتر استفاده شده است و برخی گره‌ها مثل g6 و g9 اصلاً استفاده نشده است.

طبیعتاً یک مسیریابی مناسب روشی است که بتواند از همه گره‌ها بصورت متوازن برای مسیریابی استفاده کند نه اینکه از برخی گره‌ها خیلی زیاد و برخی خیلی کم استفاده کند. زیرا اینکار باعث می‌شود گره‌هایی که بیش از حد استفاده می‌شوند زودتر از حد خاموش و غیرفعال شوند.

لذا در مثال فوق صرفاً بصورت اتفاقی این مساله رخ داده

و مشکلی از این لحاظ نسبت به روش قبل ایجاد نمی‌کند. مثال اخیر یک مثال بسیار ساده از بهبود جستجوی ناحیه و بررسی بهتر و بیشتر فضای مساله است.

هدف از این مثال آن است که نشان دهیم با استفاده از الگوریتم پیشنهادی فضای جستجو بهتر از روش ازدحام ذرات بررسی می‌شود.

روش بهینه سازی ازدحام ذرات یکی از سریعترین روش‌ها در بین الگوریتم‌های تکاملی به شمار می‌رود ولی اشکال مهم این روش آن است که، ممکن است دچار همگرایی زودرس شود.

به بیان دیگر احتمال تولید یک جواب نادرست یعنی کمینه محلی در آن وجود دارد. علت اصلی این مشکل هم دلایلی مختلفی دارد که اصلی‌ترین دلیل آن این است که فضای جستجو بطور کامل جستجو و بررسی نمی‌شود.

در حقیقت در این تحقیق با استفاده از یک الگوریتم جستجو در داخل حلقه اصلی جستجوی الگوریتم ازدحام ذرات، فضای جستجو با دقت بیشتری بررسی می‌گردد و احتمال افتادن در کمینه محلی بسیار کمتر می‌شود.

بنابراین اگرچه استفاده از یک حلقه جستجو در داخل حلقه جستجوی الگوریتم اصلی باعث کند شدن الگوریتم می‌شود ولی در مقابل از تولید جوابهای نادرست و همگرایی زودتر جلوگیری می‌کند.

## ٤- شبیه سازی و ارزیابی نتایج

در این بخش قصد داریم به نتایج روش پیشنهادی برای مسیریابی گره‌ها در شبکه حسگر بی‌سیم بپردازیم، ضمن اینکه عملکرد روش پیشنهادی که با نرم افزار MATLAB پیاده سازی کردیم در محیط سیستم عامل ۳۲ بیتی Windows 7 استفاده شده است. سیستم کامپیوتر مورد استفاده نیز Corei-5 2.5 MHz با 4GB حافظه می‌باشد.

داده‌های برنامه یک سری گره با انرژی اولیه معین هستند که بصورت تصادفی درفضای جستجو قرار گرفته‌اند. تعداد گره‌ها برحسب نوع پیاده‌سازی بین ۵۰ تا ۵۰۰ گره استفاده شده است. فضای جستجو نیز با ابعادی بین ۵۰ تا ۳۰۰ متر انتخاب می‌شود.

ضرایب الگوریتم PSO نیز به مانند چند مقاله مورد استفاده، همگی مقدار ۲ انتخاب شده است، با برخی از روش‌های بروز و جدید مقایسه خواهد شد.

روش پیشنهادی که ترکیبی از الگوریتم بهینه‌سازی ذرات و الگوریتم زنبور است را تحت عنوان HBO+PSO نامگذاری کرده‌ایم که آن را با روش PSO مقایسه خواهیم کرد. در ادامه این نتایج حاصل از این شبیه‌سازی را تحلیل می‌نماییم.

### ٤-١- مقایسه زمان طول عمر شبکه

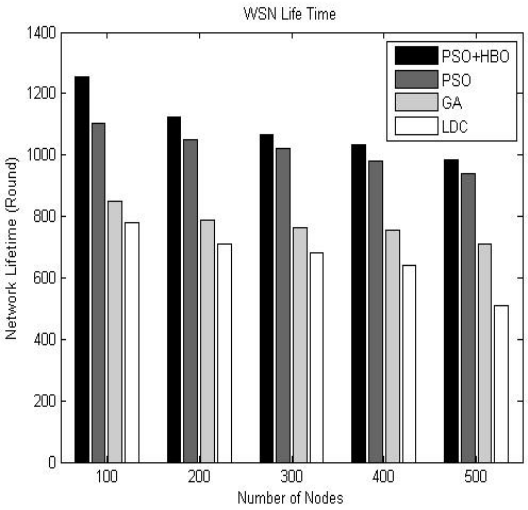
در این قسمت طول عمر شبکه را با سه روش به ازای تعداد گره‌های مختلف مقایسه می‌کنیم. سه روش دیگر عبارتند از: روش خوشه‌بندی حداقل فاصله [١٤] که مبتنی بر فاصله گره‌ها است.

روش دوم، روشی مبتنی بر خوشه‌بندی با الگوریتم ژنتیک است [١٥] و روش سوم مبتنی بر ازدحام ذرات [١٦] می‌باشد. این نتایج در شکل ۵ نمایش داده شده است.

همان طور که در برخی مقالات [١٦] نشان داده شده است برای محاسبه طول عمر شبکه از رابطه ۵ استفاده شده است. یعنی حاصل تقسیم انرژی باقیمانده هر گره به کل انرژی اولیه آن.

(۵)

$$L(i) = \left\lfloor \frac{E_{Residual}(g_i)}{E_{Gateway}(g_i)} \right\rfloor$$



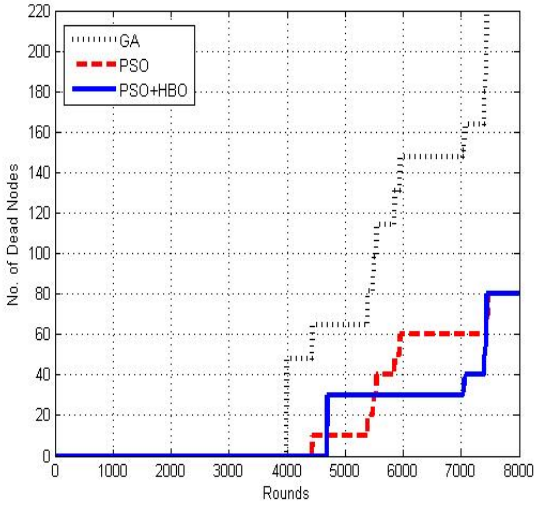

شکل ۵- مقایسه طول عمر شبکه برای روش‌های مختلف و روش پیشنهادی

همان‌طوری که در نمودار رسم شده مشخص است به ازای همه مقادیر گره‌ها مدت زمان یا تعداد تکرار زنده ماندن گره‌ها در روش پیشنهادی بیشتر از ۳ روش دیگر است. روش PSO باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در زمان زنده ماندن شبکه نسبت به دو روش LDC و الگوریتم ژنتیک شده است. روش پیشنهادی هم که باعث بهبود روش PSO شده است باز هم این مدت زمان را افزایش داده است.

مقادیر نمودار فوق به ازای ۹۰ تا گره گذرگاه محاسبه شده است. نمودار فوق نشان می‌دهد که روش پیشنهادی باعث بهبود طول عمر شبکه به میزان ۵ تا ۱۰ درصد نسبت به روش PSO شده است درحالی که نسبت به سایر روشها بین ۲۰ تا ۵۰ درصد افزایش طول عمر حاصل شده است. روش پیشنهادی همان روش PSO است ولی بدلیل جستجوی بیشتر نسبت به روش PSO عملکردش تا ۱۰ درصد بهتر شده است. خود روش PSO نسبت به سایر روشها و مانند آنچه در شکل ۵ نشان داده شده به دلیل نوع جستجوی متفاوتش ۲۰ تا ۳۰ درصد بهتر عمل می‌کند. همان گونه که اشاره شد، در بین روشهای ارائه شده برای مسیریابی، روش ازدحام ذرات نسبت به سایر آنها از عملکرد بسیار بهتری برخوردار است. لذا در ادامه روش پیشنهادی را با روش ازدحام ذرات مقایسه می‌کنیم. طبیعی است که روش پیشنهادی از سایر روشها مانند آنچه در شکل ۵ نشان داده شد هم، عملکرد بهتری دارد.

### ٤-۲- مقایسه تعداد گره‌های از کارافتاده

یک شبکه حسگر بی‌سیم به تدریج با کاهش انرژی در گره‌ها مواجه می‌شود و به تدریج انرژی برخی از گره‌ها به صفر می‌رسد. هرچه تعداد این گره‌ها کمتر باشد و دیرتر به انرژی صفر برسند الگوریتم مورد استفاده بهتر بوده و توانسته به نوعی طول عمر شبکه را بیشتر کند. در اینجا در شکل زیر روش پیشنهادی با دو روش دیگر یعنی روش ژنتیک و روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات مقایسه شده است.




شکل ٦- مقایسه تعداد گره‌های از کار افتاده برای روش‌های مختلف و روش پیشنهادی

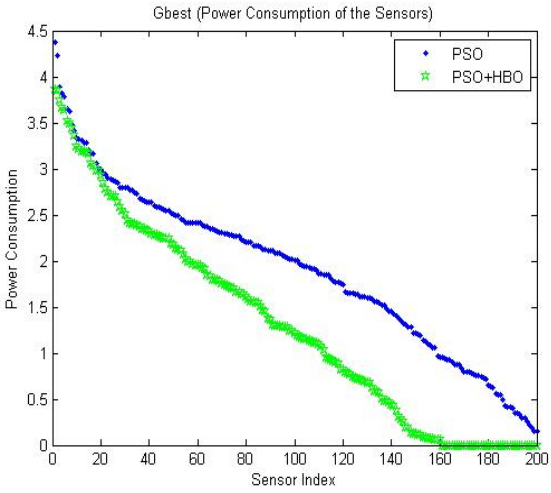
همان گونه که در شکل ٦ نشان داده شده است. روش پیشنهادی اگرچه در برخی موارد مثل تکرار ۵۰۰۰ عملکردش کمی ضعیفتر از PSO شده است ولی در مجموع از PSO بهتر است و تعداد گره‌های از کار افتاده کمتر می‌باشد. ضمن اینکه هر دو روش پیشنهادی و PSO بسیار بهتر از روش ژنتیک عمل کرده‌اند. روش پیشنهادی برای تکرارهای ٤٨۰۰ تا ٥٦۰۰ بیشتر از روش PSO گره غیرفعال دارد یک دلیل آن می‌تواند به این علت باشد که بدلیل جستجوی بیشتر فضا ارتباطات کمی بیشتر انجام

می‌شود و انرژی بیشتری مصرف می‌شود. در بقیه موارد روش پیشنهادی بهتر عمل می‌کند و در فاصله ٤٨٠٠ تا ٧٠٠٠ تقریباً هیچ گره‌ای غیرفعال نشده است زیرا در طول این مدت مسیریابی به بهترین شکل انجام شده و کمترین حد انرژی مصرف شده ولی بعد از آن برخی گره‌ها غیرفعال شده و انرژی انها به صفر رسیده است. در کلیه موارد بدلیل مسیریابی و مکان یابی بهتر انرژی مصرفی روش پیشنهادی (بجز در بازه ٤٨٠٠ تا ٥٦٠٠) کمتر بوده و لذا تعداد گره‌های غیرفعال نیز کمتر است.

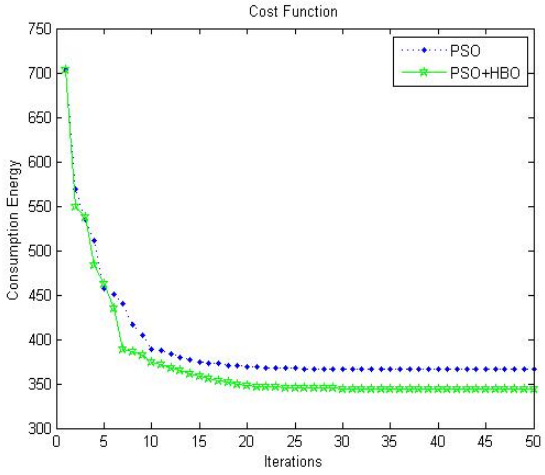
٤-٣- نتایج پیاده‌سازی حالت‌های مختلف: در این قسمت نمودارهای مقایسه نتایج بهترین جواب و تابع هزینه در هر مرحله رسم شده است. هرچه تعداد گره‌ها بیشتر باشد طبیعتاً مصرف انرژی بیشتر است. در این قسمت نتایج برای ۳ حالت مقایسه شده است. در این شکل‌ها میزان مصرف انرژی هر گره برای مسیر نهایی پیدا شده در قسمت الف و میزان انرژی مصرفی کل شبکه در هر تکرار در شکل ب نشان داده شده است.

شکل ۷ مقایسه نتایج پیاده سازی برای ۱۰۰ گره و تعداد تکرار ۵۰ بار را نشان می‌دهد. در شروع الگوریتم‌ها چون فضای جستجو کامل بررسی نشده و جوابهای هر دو الگوریتم مثل هم است نمودار اغلب بر هم منطبق است. حتی در شکل ۷-الف روش پیشنهادی چون کامل فضا را جستجو نکرده است جوابهای تولیدی آن بدتر از روش PSO است ولی به مرور بهتر می‌شود. در جاهایی که با جستجوی بیشتر جوابی بهتر پیدا شده یکباره شیب نمودار مصرف انرژی (و نمودار تابع هزینه) با شدت بیشتری کم شده است. در انتهای کار به دلیل رفتار الگوریتم‌های تکاملی و اینکه در انتهای کار تغییرات جوابها بسیار اندک است شیب نمودارها تقریباً به صفر رسیده است. در جاهایی که با جستجوی بیشتر جوابی بسیار بهتر پیدا شده یکباره شیب نمودار با شدت بیشتری زیاد شده است.

شکل ۸ مقایسه پیاده سازی برای ۲۰۰ گره و تعداد تکرار ۳۰ بار را نمایش می‌دهد. طبق شکل ۸- ب در تکرار هفتم مسیر بسیار بهتر توسط روش پیشنهادی پیدا شده که PSO نتوانسته آنرا پیدا کند لذا از این تکرار به بعد میزان مصرف انرژی تفاوت قابل ملاحظه ای دارد. در حقیقت بهترین جواب پیدا شده توسط PSO تقریباً در همین تکرار یعنی تکرار هفتم بوده و در همین جواب مانده است و گرفتار کمینه محلی شده است. در حالی که روش پیشنهادی جوابی بسیار بهتر پیدا کرده و این جواب حتی در تکرارهای بعدی بهتر هم شده است. شکل ۱۰ مقایسه نتایج پیاده سازی برای ۳۰۰ گره و تعداد تکرار ۲۰ بار را نشان می‌دهد. در این شکل نیز همانند شکل‌های قبلی میزان مصرف انرژی هر گره برای مسیر نهایی پیدا شده در قسمت الف و میزان انرژی مصرفی کل شبکه در هر تکرار در شکل ب نشان داده شده است. رفتار نمودارها در این شکل هم مشابه شکل قبل است. در همه شکلهای ۷، ۸ و ۹ در شروع الگوریتم‌ها چون فضای جستجو کامل بررسی نشده و جوابهای هر دو الگوریتم مثل هم است نمودار اغلب بر هم منطبق است. در جاهایی که با جستجوی بیشتر جوابی بسیار بهتر پیدا شده یکبار شیب نمودار مصرف انرژی (و نمودار تابع هزینه) با شدت بیشتری کم شده است. در انتهای کار به دلیل رفتار الگوریتم‌های تکاملی و اینکه در انتهای کار تغییرات جوابها بسیار اندک است شیب نمودارها تقریباً به صفر رسیده است.

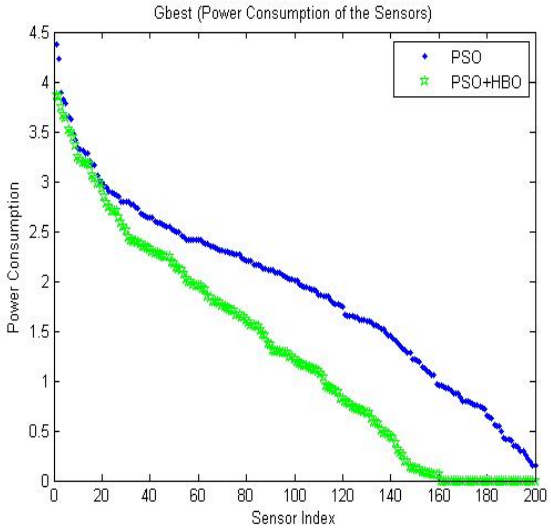



الف) میزان مصرف انرژی برای هر گره در آخرین مرحله

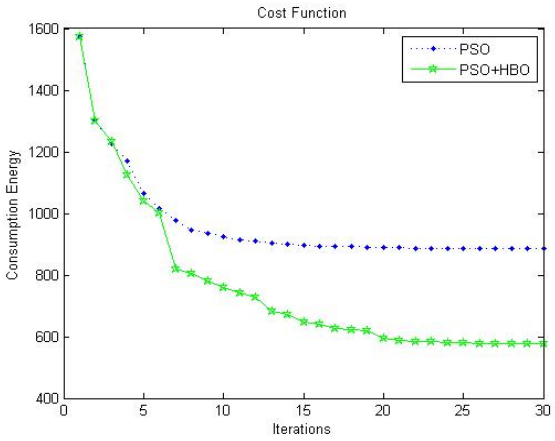



ب) میزان مصرف انرژی کل شبکه در هر تکرار

شکل ۷- مقایسه نتایج پیاده سازی ۱۰۰ گره و تعداد تکرار ۵۰

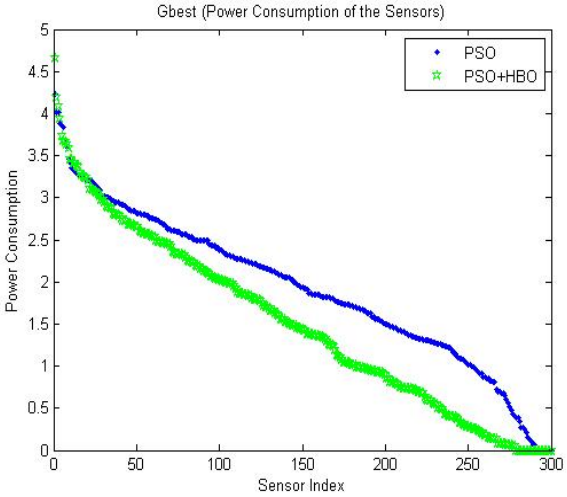



الف) میزان مصرفان رژی برای هر گره در آخرین مرحله

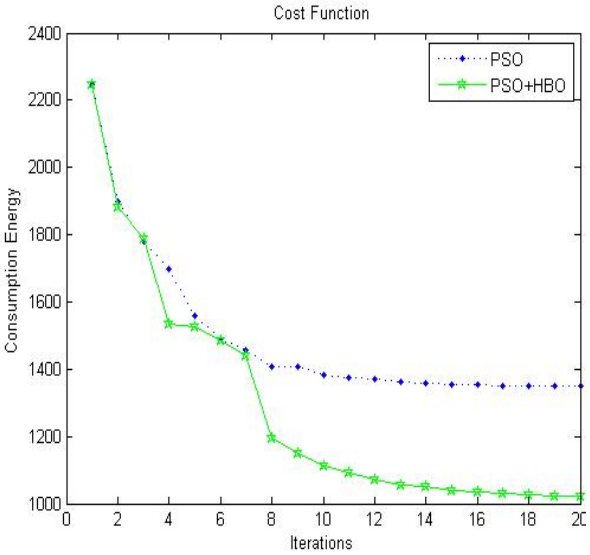



ب) میزان مصرف انرژی کل شبکه در هر تکرار

شکل ۸- مقایسه نتایج پیاده سازی ۲۰۰ گره و تعداد تکرار ۳۰




الف) میزان مصرف انرژی برای هر گره در آخرین مرحله

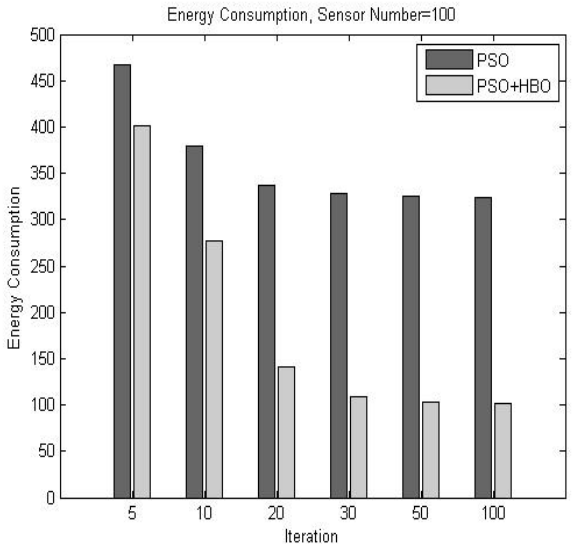



ب) میزان مصرف انرژی کل شبکه در هر تکرار

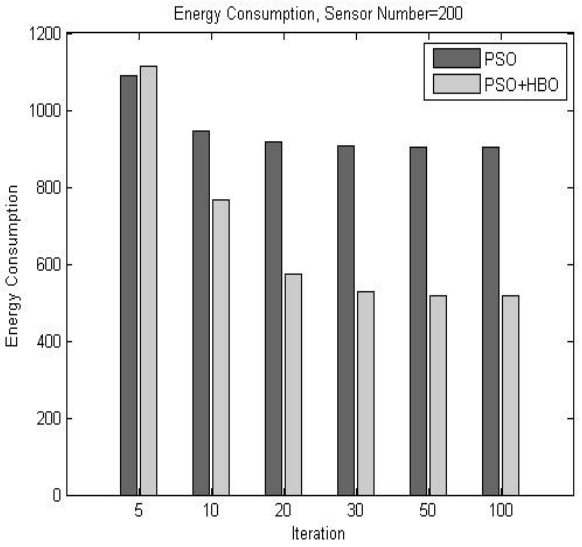
شکل ۹- مقایسه نتایج پیاده سازی ۳۰۰ گره و تعداد تکرار ۲۰

### ٤-٤- نتایج مصرف انرژی برای تکرارهای مختلف

در اینجا نتایج تکرارهای مختلف به ازای تعداد خاصی از گره‌ها با هم مقایسه می‌شود. طبیعتاً در الگوریتم‌های تکاملی هر چه تکرار بیشتر شود نتایج بهتری حاصل می‌گردد ولی بعد از رسیدن به جوابهای مناسب تغییرات بسیار ناچیز یا صفر می‌شود. ملاحظه می‌شود که در همه حالتها میزان مصرف انرژی روش پیشنهادی بهتر از روش ازدحام ذرات است. در شکل ۱۰-الف مصرف انرژی شبکه به ازای ۱۰۰ گره در تکرارهای مختلف نمایش داده شده است. هر چه تکرار بیشتر شود میزان کاهش مصرف نیز بهتر می‌شود. در همه حالت‌ها روش پیشنهادی مصرف کمتری داشته است. ملاحظه می‌شود که افزایش تکرار حلقه در روش پیشنهادی باعث کاهش بیشتری در مصرف می‌شود. همان‌طوری که در شکل ۱۰-الف مشخص است در شروع کار و در تکرارهای پایین عملکرد دو روش به هم نزدیک است. ولی به مرور فاصله ایجاد شده است. در حقیقت در این دو شکل بعد از ۲۰ تکرار به یک جواب بسیار خوب رسیده‌ایم ولی تکرارهای بعدی فقط باعث بهبود کم مسیریابی شده است و مسیرهای پیدا شده تفاوت اساسی با جواب‌های قبلی ندارد. لذا تغییرات هم اندک است. شکل ۱۰-ب مصرف انرژی برای تکرارهای مختلف را برای ۲۰۰ گره نمایش می‌دهد.




الف




ب

شکل ۱۰- مقایسه میزان مصرف انرژی در تکرارهای مختلف، برای الف) ۱۰۰ گره، ب) ۲۰۰ گره

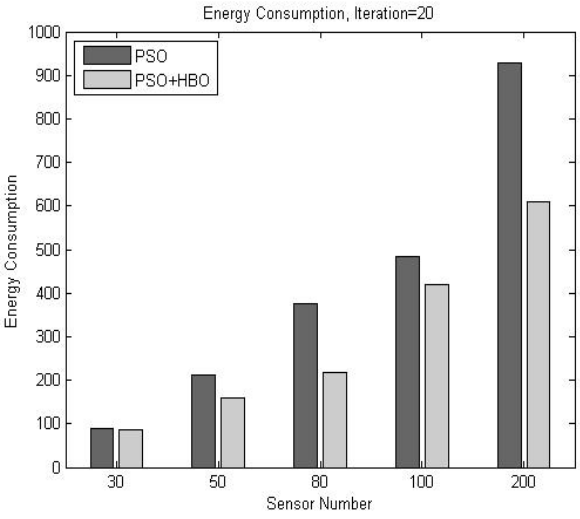
در این شکل همان طوری که مشاهده می‌شود حتی در شروع کار، روش پیشنهادی مصرف انرژی بیشتری دارد. ولی با ادامه الگوریتم و تکرارهای بعدی برتری روش پیشنهادی به روش PSO بیشتر و بیشتر می‌شود. طبیعی است که بعد از تعداد تکرار زیاد، دیگر تکرارهای زیادتر جواب‌های بهتری تولید نمی‌کند و میزان مصرف تقریباً ثابت می‌ماند. یعنی ادامه الگوریتم‌ها منجر به پیدا شدن جواب‌های کمی بهتر و نه خیلی بهتر می‌شود. در حقیقت در این شکل هم همانند شکل الف، بعد از ۲۰ تکرار به یک جواب بسیار خوب رسیده‌ایم ولی تکرارهای بعدی فقط باعث بهبود کم مسیریابی شده است و مسیرهای پیدا شده تفاوت اساسی با جوابهای قبلی ندارد. لذا تغییرات هم اندک است.

### ٤-٥- نتایج مصرف انرژی برای تعداد گره‌های مختلف

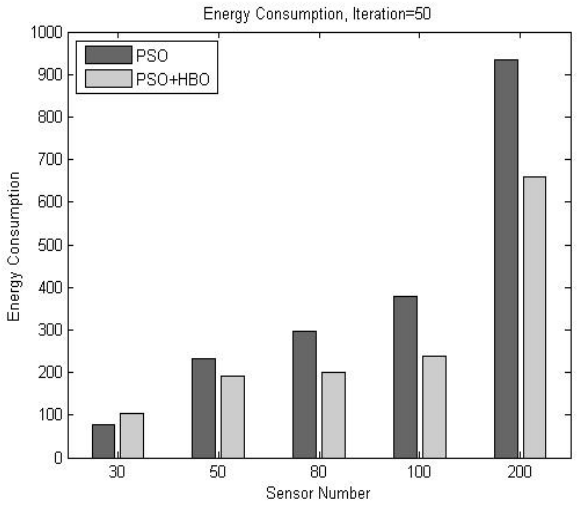
یک نکته مهم این نمودارها این است که هرچه تعداد گره‌ها بیشتر باشد مصرف انرژی بیشتر می‌شود ولی میزان مصرف انرژی به ازای تکرار مختلف کم یا زیاد شده است. دلیل آن برمی‌گردد به مکان اولیه گره‌ها. چون در هر بار اجرای برنامه، مکان گره‌ها به صورت تصادفی انتخاب

می‌شود. لذا در برخی موارد میزان مصرف انرژی بهینه نیز ممکن است برای تعداد گره‌های زیادتر، کمتر شود.

یک نکته مهم اینکه میزان افزایش مصرف انرژی برای روش پیشنهادی با افزایش گره‌ها، خیلی کمتر از روش PSO است. یعنی روش پیشنهادی توانسته تعداد زیاد گره‌ها را بهتر مدیریت کند. در شکل ۱۱-الف به ازای تعداد ۳۰ گره مصرف انرژی روش پیشنهادی به دلیل پراکنده بودن تعداد بسیار کمی گره و کم بودن تعداد مسیرها تقریباً با روش PSO برابر است ولی برای گره‌های بیشتر روش پیشنهادی به دلیل قابلیت پیدا کردن مسیرهای بیشتر بهتر می‌شود. شکل ۱۱- الف نشان می‌دهد با افزایش گره‌ها به دلیل بزرگتر شدن فضای جستجو و افزایش تعداد مسیرهای ممکن روش پیشنهادی بهتر عمل می‌کند. در حقیقت روش پیشنهادی هر چه فضای جستجو تنوع و اندازه بیشتری داشته باشد بهتر عمل می‌کند زیرا فضا را بیشتر بررسی می‌کند.




الف




ب

شکل ۱۱- مقایسه میزان مصرف انرژی برای تعداد گره‌های مختلف، برای الف) ۲۰ تکرار، ب) ۵۰ تکرار

شکل ۱۱-ب موارد نمودار را به ازای ۵۰ تکرار نشان می‌دهد لذا مصرف انرژی نیز نسبت به شکل الف کمتر است. در شکل ۱۱-الف فقط برای ۳۰ گره مقدار انرژی مصرفی روش پیشنهادی بیشتر از روش PSO است. که همان گونه که قبلاً بیان شد علت آن کم بودن تعداد تکرارهای الگوریتم‌ها است و با تکرارهای بیشتر این مشکل برطرف می‌شود. همانند شکل ۱۱-الف در شکل ۱۱-ب هم با افزایش گره‌ها به دلیل بزرگ‌تر شدن فضای جستجو و افزایش تعداد مسیرهای ممکن روش پیشنهادی بهتر عمل می‌کند. در حقیقت روش پیشنهادی هر چه فضای جستجو تنوع و اندازه بیشتری داشته باشد بهتر عمل می‌کند زیرا فضا را بیشتر بررسی می‌کند. در شکل ۱۱-ب برای ۳۰ گره نتیجه روش PSO بهتر از روش پیشنهادی بوده است. این نتیجه برای ۵۰ تکرار است طبیعی است که اگر تکرارهای بیشتری داشتیم روش پیشنهادی بهتر عمل می‌کرد.

### ٤-٦- نتایج مصرف انرژی برای اجراهای مختلف برنامه

با توجه به اینکه چیدمان گره‌ها در شبکه کاملاً تصادفی و متفاوت است. هر بار اجرای الگوریتم پیشنهادی و ازدحام

ذرات نتایج متفاوتی را تولید می‌کند. چرا که مسیربهینه و مسیریابی گره‌ها با تغییر مکان گره‌ها نسبت به هم تغییر می‌کند. لذا برای مقایسه دقیقتر، بهتر است برنامه را بارها اجرا کنیم و میانگین نتایج دو روش را مقایسه کنیم. لذا در این قسمت در جدول ۵ روش پیشنهادی و ازدحام ذرات ۵۰ بار اجرای شده است و پس از ۵۰ اجرا، میانگین نتایج در جدول ۵ نشان داده شده است. این جدول مقایسه انرژی مصرفی (برحسب ژول) برای روش پیشنهادی و روش ازدحام ذرات به ازای تعداد تکرارهای (r) مختلف (۲۰۰ و ۱۰۰، ۵۰، ۲۰، ۱۰، ۵، ۱) و تعداد گره‌های (N) مختلف (۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰) را نشان می‌دهد.

همان گونه که از جدول ۵ مشاهده می‌شود. هرچه تعداد گره‌های بیشتر باشد مصرف کل انرژی جهت مسیریابی بیشتر خواهد شد.

در شروع کار یعنی در تکرار اول مسیر پیدا شده تقریباً یکسان است ولی به مرور با تکرارهای بیشتر، مسیرهای پیدا شده متفاوت‌تر شده و میزان تفاوت انرژی کل مصرفی بیشتر می‌شود. در اغلب حالتها پس از r=۲۰ تکرار به یک مسیر مناسب دست پیدا کرده‌ایم و تکرارهای بعدی صرفاً باعث بهبود کوچکی می‌شود.

در هر ردیف انرژی مصرفی کمتر بصورت پررنگ نمایش داده شده است.

جواب نهایی در حقیقت ستون آخر جدول است که پس از ۲۰۰ تکرار میزان مصرف انرژی کل شبکه را برای هر حالت نمایش داده است که روش پیشنهادی نسبت به روش ازدحام ذرات، کاهش مصرف انرژی را در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد نشان می‌دهد.

جدول ٤- میانگین انرژی مصرفی (برحسب ژول) برای روش پیشنهادی و روش ازدحام ذرات برای ۵۰ اجرای برنامه

| روش | | r=1 | r=5 | r=10 |
|---|---|---|---|---|
| PSO | N=20 | 138.0 | 124.37 | 97.17 |
| PSO+HBO | | 142.0 | 126.07 | 93.58 |
| PSO | N=50 | 377.0 | 288.15 | 255.07 |
| PSO+HBO | | 367.0 | 260.22 | 212.96 |
| PSO | N=100 | 761.2 | 633.40 | 598.46 |
| PSO+HBO | | 750.2 | 626.90 | 546.35 |
| PSO | N=200 | 1498.0 | 1204.14 | 1098.05 |
| PSO+HBO | | 1494.0 | 1095.74 | 834.20 |

| روش | | r=20 | r=50 | r=100 | r=200 |
|---|---|---|---|---|---|
| PSO | N=20 | 80.60 | 73.39 | 73.39 | 73.39 |
| PSO+HBO | | 69.25 | 68.25 | 68.15 | 68.05 |
| PSO | N=50 | 234.64 | 234.58 | 233.58 | 233.58 |
| PSO+HBO | | 210.47 | 190.49 | 187.39 | 185.29 |
| PSO | N=100 | 490.54 | 490.26 | 490.26 | 490.26 |
| PSO+HBO | | 425.83 | 383.30 | 343.30 | 343.30 |
| PSO | N=200 | 880.74 | 876.82 | 874.72 | 874.72 |
| PSO+HBO | | 698.61 | 689.18 | 673.35 | 669.38 |

**٤-۷- مقایسه زمان اجرا**

روش پیشنهادی در حقیقت تغییر یافته روش PSO است و با توجه به استفاده از یک روش بهینه‌سازی دیگر در داخل روش PSO زمان اجرای کل افزایش می‌یابد. جدول زیر

برای ۱۰۰ تکرار است. همان گونه که از جدول ۵ مشاهده می‌شود یک عیب روش پیشنهادی سرعت کمتر آن نسبت به روش الگوریتم ازدحام ذرات است. البته این اشکال را می‌توان با پیاده‌سازی بصورت موازی و جستجوی موازی محیط برطرف کرد. مطابق با جدول زیر زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی حدوداً ۲۵ درصد بیشتر از روش PSO است. دلیل این مساله استفاده از الگوریتم بهینه سازی زنبور عسل در داخل حلقه الگوریتم ازدحام ذرات است.

جدول ۵–مقایسه زمان اجرای الگوریتم (ثانیه)، برای تعداد گره مختلف و ۱۰۰ تکرار

| تعداد گره‌ها | N=50 | N=100 | N=200 |
|---|---|---|---|
| PSO | 141 | 310 | 675 |
| PSO+HBO | 189 | 457 | 980 |

## ۵- نتیجه‌گیری و کارهای آینده

در این تحقیق هدف اصلی، مسیریابی بهتر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم جهت کاهش مصرف انرژی است که منجر به افزایش طول عمر شبکه می‌گردد. در این روش با ترکیب الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم زنبور عسل هنگام جستجو در فضای جستجو، به نتایج بهتری رسیدیم. روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات یک روش مناسب و سریع برای جستجو در فضای جوابها در مسائل چند هدفی است. این روش علیرغم سادگی و سرعت بالا دارای این مشکل مهم است که ممکن است زودتر از موعد مقرر به جواب برسد و دچار جواب زودرس یا کمینه محلی شود. این مساله بر می‌گردد به عدم جستجوی بهینه فضای جستجو، لذا با ترکیب این روش با الگوریتم زنبور عسل فضای جستجو بیشتر و بهتر بررسی می‌شود و بردار حرکت الگوریتم PSO با یک بردار جدید دیگر که توسط الگوریتم زنبور عسل تولید شده است کمی‌تصحیح می‌شود. نتایج حاصل شده نشان می‌دهد که به ازای تکرارهای مختلف و تعدادگره‌های مختلف روش ارائه شده بهتر از روش PSO عمل می‌کند. در مجموع استفاده از روش پیشنهادی باعث بهبود مصرف انرژی روش ازدحام ذرات می‌شود این بهبود در اغلب پیاده سازی‌ها و نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که الگوریتم ترکیبی، قابلیت افزایش طول عمر شبکه رابه میزان ۵ تا ۱۵ درصد و بهینه سازی مسیریابی و مصرف انرژی را به میزان ۵ تا ۲۰ درصد کاهش می‌دهد و در برخی شرایط خاص تا ٤٠ درصد نیز بهبود مصرف انرژی نسبت به روش ازدحام ذرات حاصل شده است.

ضمن اینکه تعداد گره‌های از کار افتاده نیز بجز در یک بازه زمانی شروع کار، در اغلب موارد حدوداً ۲۰ تا ۳۰ درصد کمتر از روش pso است. ضمن اینکه عملکرد آن نسبت به خیلی دیگر از روشها مانند روش ژنتیک بسیار بهتر بوده است.

در این پژوهش سرعت یا زمان اجرای الگوریتم نسبت به روش PSO افزایش یافته که در این راستا می‌توان روشی را ارائه داد که بصورت موازی روش پیشنهادی و جستجوی فضا را انجام دهد به منظور افزایش سرعت روش پیشنهادی و همچنین ارائه توابع هزینه مناسب که بطور دقیق میزان کاهش انرژی را در شبکه حسگر نشان دهد نیز خود از موارد مهم می‌تواند باشد. در حقیقت اننخاب تابع شایستگی کاملاً وابسته به تابع هزینه می‌باشد. در این تحقیق از یک تابع هزینه استفاده شد که در تحقیقات دیگر نیز استفاده شده است. می‌توان با استفاده از توابع دقیق‌تر به نتایجی نزدیکتر به حالت واقعی رسید.

## ٦- مراجع:


[1] P. Kuila and P. K. Jana, "Energy efficient clustering and routing algorithms for wireless sensor networks: Particle swarm optimization approach," *Engineering Applications of Artificial Intelligence,* vol. 33, pp. 127-140, 2014.

[2] S. Sarangi and B. Thankchan, "A novel routing algorithm for wireless sensor network using particle swarm optimization," *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSRJCE),* vol. 4, pp. 26-30, 2012.
[3] A. Zengin and S. Tuncel, "A survey on swarm intelligence based routing protocols in wireless sensor networks," *International Journal of Physical Sciences,* vol. 5, pp. 2118-2126, 2010.
[4] A. M. Zungeru, L.-M. Ang, and K. P. Seng, "Classical and swarm intelligence based routing protocols for wireless sensor networks: A survey and comparison," *Journal of Network and Computer Applications,* vol. 35, pp. 1508-1536, 2012.
[5] T. Liu, Q. Li, and P. Liang, "An energy-balancing clustering approach for gradient-based routing in wireless sensor networks," *Computer Communications,* vol. 35, pp. 2150-2161, 2012.
[6] A. M. Zungeru, K. P. Seng, L.-M. Ang, and W. Chong Chia, "Energy efficiency performance improvements for ant-based routing algorithm in wireless sensor networks," *Journal of Sensors,* vol. 2013, 2013.
[7] L. Shi, B. Zhang, Z. Yao, K. Huang, and J. Ma, "An efficient multi-stage data routing protocol for wireless sensor networks with mobile sinks," in *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011), 2011 IEEE*, 2011, pp. 1-5.
[8] P. Kuila, S. K. Gupta, and P. K. Jana, "A novel evolutionary approach for load balanced clustering problem for wireless sensor networks," *Swarm and Evolutionary Computation,* vol. 12, pp. 48-56, 2013.
[9] J. Kennedy, "Particle swarm optimization," in *Encyclopedia of machine learning*, ed: Springer, 2011, pp. 760-766.
[10] D. Pham, A. Ghanbarzadeh, E. Koc, S. Otri, S. Rahim, and M. Zaidi, "The bees algorithm. Technical note," *Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University, UK,* pp. 1-57, 2005.
[11] A. Liu, J. Ren, X. Li, Z. Chen, and X. S. Shen, "Design principles and improvement of cost function based energy aware routing algorithms for wireless sensor networks," *Computer Networks,* vol. 56, pp. 1951-1967, 2012.
[12] S. M. Mortazavi, M. Malekzadeh, and R. A. Moghaddam, "Reducing Energy Consumption in Wireless Sensor Networks by CICA Algorithm."
[13] K.-i. Hwang, J. In, and D.-s. Eom, "Distributed dynamic shared tree for minimum energy data aggregation of multiple mobile sinks in wireless sensor networks," in *European Workshop on Wireless Sensor Networks*, 2006, pp. 132-147.
[14] H. R. Karkvandi, E. Pecht, and O. Yadid-Pecht, "Effective lifetime-aware routing in wireless sensor networks," *IEEE Sensors Journal,* vol. 11, pp. 3359-3367, 2011.
[15] Q. Liao and H. Zhu, "An energy balanced clustering algorithm based on LEACH protocol," in *Applied Mechanics and Materials*, 2013, pp. 1138-1143.
[16] A. Bari, A. Jaekel, and S. Bandyopadhyay, "Clustering strategies for improving the lifetime of two-tiered sensor networks," *Computer Communications,* vol. 31, pp. 3451-3459, 2008.
[17] I. Chatzigiannakis, A. Kinalis, and S. Nikoletseas, "Efficient data propagation strategies in wireless sensor networks using a single mobile sink," *Computer Communications,* vol. 31, pp. 896-914, 2008.
[18] K. Fodor and A. Vidács, "Efficient routing to mobile sinks in wireless sensor networks," in *Proceedings of the 3rd international conference on Wireless internet*, 2007, p. 32.
[19] S. K. Gupta, P. Kuila, and P. K. Jana, "GAR: an energy efficient GA-based routing for wireless sensor networks," in *International conference on distributed computing and internet technology*, 2013, pp. 267-277.
[20] E. B. Hamida and G. Chelius, "Strategies for data dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks," *IEEE Wireless Communications,* vol. 15, pp. 31-37, 2008.
[21] M. Vecchio, A. C. Viana, A. Ziviani, and R. Friedman, "DEEP: Density-based proactive data dissemination protocol for wireless sensor networks with uncontrolled sink mobility," *Computer Communications,* vol. 33, pp. 929-939, 2010.

[22] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer networks,* vol. 38, pp. 393-422, 2002.
[23] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Transactions on wireless communications,* vol. 1, pp. 660-670, 2002.
[24] Y. B. Ko and N. H. Vaidya, "Flooding-based geocasting protocols for mobile ad hoc networks," *Mobile Networks and Applications,* vol. 7, pp. 471-480, 2002.
[25] J.-Y. Kim, T. Sharma, B. Kumar, G. Tomar, K. Berry, and W.-H. Lee, "Intercluster ant colony optimization algorithm for wireless sensor network in dense environment," *International Journal of distributed sensor networks,* vol. 10, p. 457402, 2014.
[26] Y. Bi, L. Sun, J. Ma, N. Li, I. A. Khan, and C. Chen, "HUMS: an autonomous moving strategy for mobile sinks in data-gathering sensor networks," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking,* vol. 2007, p. 064574, 2007.
[27] E. Lee, S. Park, F. Yu, and S.-H. Kim, "Exploiting mobility for efficient data dissemination in wireless sensor networks," *Journal of communications and networks,* vol. 11, pp. 337-349, 2009.
[28] A. D. Amis, R. Prakash, T. H. Vuong, and D. T. Huynh, "Max-min d-cluster formation in wireless ad hoc networks," in *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, 2000, pp. 32-41.
[29] G. Wang, T. Wang, W. Jia, M. Guo, and J. Li, "Adaptive location updates for mobile sinks in wireless sensor networks," *The Journal of Supercomputing,* vol. 47, pp. 127-145, 2009.
[30] G. Wang, T. Wang, W. Jia, M. Guo, H.-H. Chen, and M. Guizani, "Local update-based routing protocol in wireless sensor networks with mobile sinks," in*, ICC'07. IEEE International Conference on Communications*, 2007, pp. 3094-3099.
[31] X. Wu and G. Chen, "Dual-sink: using mobile and static sinks for lifetime improvement in wireless sensor networks," in *Computer Communications and Networks, 2007. ICCCN 2007. Proceedings of 16th International Conference on*, 2007, pp. 1297-1302.
[32] Z. Jian-wu, J. Ying-ying, Z. Ji-ji, and Y. Cheng-lei, "A weighted clustering algorithm based routing protocol in wireless sensor networks," in *Computing, Communication, Control, and Management, 2008. ISECS International Colloquium on CCCM'08*, 2008, pp. 599-602.
[33] H. Le Xuan and S. Lee, "A coordination-based data dissemination protocol for wireless sensor networks," in *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing Conference, 2004. Proceedings of the 2004*, 2004, pp. 13-18.
[34] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "A two-tier data dissemination model for large-scale wireless sensor networks," in *Proceedings of the 8th annual international conference on Mobile computing and networking*, 2002, pp. 148-159.
[35] L. Yu, N. Wang, W. Zhang, and C. Zheng, "GROUP: A Grid-Clustering Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," in *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2006. WiCOM 2006.*, 2006, pp. 1-5.