

تخصیص کانال هوشمند برپایه اتوماتای یادگیر در شبکه های بی سیم تنیده ی حامل



ترافیک اینترنت

آرش سلیم پور<sup>۱</sup>، ضیاءالدین بهشتی فر<sup>۲</sup>، محمدرضا میبدی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و

فناوری اطلاعات

۲- دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری

اطلاعات

۳- پروفسور دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

[salimpur@gmail.com](mailto:salimpur@gmail.com)

[beheshti@qiau.ac.ir](mailto:beheshti@qiau.ac.ir)

[mmeybodi@aut.ac.ir](mailto:mmeybodi@aut.ac.ir)

نام ارائه دهنده: آرش سلیم پور

کد مقاله: com-0894

### خلاصه

شبکه های بی سیم تنیده یک تکنولوژی جدید و نوید بخش جهت فراهم آوردن اینترنت برای کاربران است. استفاده از مدل چند رادیو چند کانال فرکانسی منجر به بهبود کارایی این نوع شبکه ها گردید اما این مدل چالش چگونگی تخصیص بهینه ی کانال را بوجود آورد. در این مقاله یک روش تخصیص کانال جهت کاهش تداخل در شبکه های بی سیم تنیده با استفاده از اتوماتای یادگیر، ارائه گردیده است. که با استفاده از خصوصیات ترافیک اینترنت و بهره گیری از یک ساختار سلسله مراتبی سعی در تخصیص بهینه ی کانال و کاهش تداخل و افزایش گذردهی شبکه دارد. شیوه ی ارائه شده در این مقاله توسط شبیه ساز NS3 مدل سازی شده و عملکردش با برخی از الگوریتم های تخصیص کانال مقایسه شده است. مطابق نتایج بدست آمده روش ارائه شده عملکرد مناسبی را از خود نشان داده است.

کلمات کلیدی: شبکه های بی سیم تنیده، تخصیص کانال، اتوماتای یادگیر

### ۱. مقدمه

با افزایش تکنولوژی ارتباطات و نیاز افراد به اتصال دائم و پرسرعت به شبکه ی جهانی و تبادل اطلاعات با آن در هر زمان و مکان، نیاز به توسعه شبکه های بی سیم که امکان اتصال کاربران به شبکه اینترنت را به راحتی در هر مکانی فراهم آوردن روز به روز مشهودتر می نماید. در این میان شبکه های بی سیم تنیده به

دلیل قابلیت‌ها و ویژگی‌های خاص خود به عنوان یک تکنولوژی جدید روبه رشد و امید بخش برای توسعه‌ی شبکه‌های بی‌سیم نسل آینده مطرح گردیده‌اند. شبکه‌های بی‌سیم تنیده از دو نوع گره تشکیل شده‌اند: مسیر یاب‌های تنیده<sup>۱</sup> و گره‌های کاربر<sup>۲</sup>. مسیر یاب‌های تنیده یک زیر ساخت بی‌سیم چند گامی، جهت فراهم آوردن دسترسی به اینترنت برای کاربران فراهم می‌آورند.

مجهز کردن هر گره با رادیوهای متعدد، به عنوان روشی برای بهبود ظرفیت شبکه‌های بی‌سیم تنیده معرفی شده است، که با تخصیص کانال‌های غیرهمپوشان به رادیوهای مختلف می‌توان بهره‌وری طیفی شبکه را افزایش داد[۱].

روش تخصیص کانال باید به نوعی بین جوانب ناسازگاری مانند سادگی، کیفیت و ظرفیت، توازن برقرار نماید. که همین امر، مسئله‌ی تخصیص کانال را در زمره‌ی مسائل NP-hard قرار داده است[۲]. حل این گونه مسائل با روش‌های معمول ریاضی بسیار دشوار و زمانبر است به همین علت استفاده از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند راهکاری مناسب برای تخصیص کانال به شیوه‌ای مطلوب تر باشد. در مقالاتی مانند [۳-۶] از روش‌های هوشمند برای حل مسئله‌ی تخصیص کانال استفاده شده است. برخی از مقالات مانند [۷و۸] نیز خصوصاً از آتوماتای یادگیر برای این منظور استفاده می‌کنند.

استفاده از ساختار سلسله مراتبی به خصوص در شبکه‌های حامل ترافیک می‌تواند به حل مسئله تخصیص کانال کمک شایانی نماید، استفاده از ساختار سلسله مراتبی در [۹] مطرح شده است. الگوریتم ارائه شده در این مقاله با استفاده از یک ساختار سلسله مراتبی و اولویت دهی با استفاده از آتوماتای یادگیر، با توجه به ویژگی ترافیک اینترنت عمل تخصیص کانال به گونه‌ای انجام می‌شود که مشکل ازدحام در لینک‌های منتهی به گره‌های درگاه را کاهش و کارایی شبکه را افزایش دهد.

## ۲. جایگاه تخصیص کانال و هدف آن در شبکه‌های بی‌سیم تنیده

شبکه‌های بی‌سیم تنیده که از محصولات کارت‌های شبکه 802.11 استفاده می‌کنند، اساساً برای کار بر روی یک کانال مجزا (بخشی از طیف فرکانسی با پهنای باند ویژه) که در حال استفاده از یک رادیوی مجزا هستند، پیکربندی می‌شوند. این پیکربندی، روی ظرفیت شبکه‌ی تنیده به علت تداخل گره‌های همسایه در شبکه، اثر منفی می‌گذارد (چراکه، همه‌ی گره‌های همسایه روی کانال یکسان رقابت می‌کنند).

مجهز کردن هر گره با رادیوهای متعدد، بعنوان یک روش نوید بخش برای بهبود ظرفیت شبکه‌های بی‌سیم تنیده پدیدار شده است. با تنظیم کانال‌های غیرهمپوشان به رادیوهای مختلف، مسیر یاب‌های تنیده می‌توانند به صورت همزمان به ارسال و دریافت داخل یک همسایگی بپردازند. بنابراین استفاده از چند رادیو و چند کانال، منجر به بهره‌وری طیفی کارا و افزایش پهنای باند واقعی موجود روی شبکه می‌شود[۱۰].

در یک شبکه‌ی بی‌سیم تنیده واقعی، تعداد کل رادیوها نسبت به کانال‌های موجود خیلی بیشتر است. بنابراین، بسیاری از لینک‌ها بین مسیر یاب‌های تنیده روی مجموعه یکسانی از کانال‌ها عمل می‌کنند. در نتیجه، تداخل میان ارسال‌ها روی این کانال‌ها می‌تواند بطور چشمگیری بهره‌وری شبکه را کاهش دهد. بنابراین، مانند شبکه‌های سلولی<sup>۳</sup>، فاکتور کلیدی برای مینیم کردن اثر تداخل، استفاده‌ی مجدد کارآمد از طیف رادیویی کمیاب است. بنابراین، یک جنبه‌ی کلیدی در معماری شبکه‌های بی‌سیم تنیده چند کانالی و چند رادیویی، مسئله‌ی تخصیص کانال که شامل تخصیص هر رادیو به یک کانال به طریقی که بهره‌وری مؤثر کانال‌های موجود بتواند حاصل شود، می‌باشد. بویژه هدف در مسئله‌ی تخصیص کانال در ارتباطات چند گامی، مینیم کردن تداخل روی هر کانال معین می‌باشد[۱۱]. در مجموع، هدف اساسی دیگر تخصیص کانال در شبکه‌های بی‌سیم تنیده، تضمین سطح مناسب اتصال میان گره‌های تنیده است. به عبارت دیگر، تخصیص کانال‌ها به رادیوها باید اطمینان دهد که مسیرهای متعدد میان مسیر یاب‌های تنیده موجود می‌باشد. این یک مشخصه و نیازمندی اساسی برای مقاوم بودن و قابلیت اعتماد لایه‌ی backhaul در این گونه شبکه‌ها می‌باشد.

## ۳. آتوماتای یادگیر

<sup>۱</sup> Mesh Router

<sup>۲</sup> Mesh Client

<sup>۳</sup> cellular

آتوماتای یادگیر را می توان یک شی مجرد در نظر گرفت که دارای تعداد محدودی عمل می باشد. عملکرد این شیء به این صورت است که در هر زمان یک عمل از بین مجموعه اعمال انتخاب می گردد و سپس در یک محیط تصادفی مورد ارزیابی قرار می گیرد. جوابی که از محیط دریافت می شود توسط آتوماتا برای انتخاب عمل بعدی بکار گرفته می شود و به این ترتیب آتوماتا به آرامی عمل بهینه را شناسایی می نماید. روشی که آتوماتا با استفاده از آن پاسخ محیط را برای انتخاب عمل بعدی به کار می برد توسط الگوریتم یادگیری به کار رفته، تعیین می شود. هر آتوماتای یادگیر تصادفی از دو جزء عمده تشکیل شده است.

- یک آتوماتای تصادفی که دارای تعداد محدودی عمل می باشد و با یک محیط تصادفی در حال محاوره می باشد.
- الگوریتم یادگیری که با استفاده از آن آتوماتا عمل بهینه را شناسایی می کند.

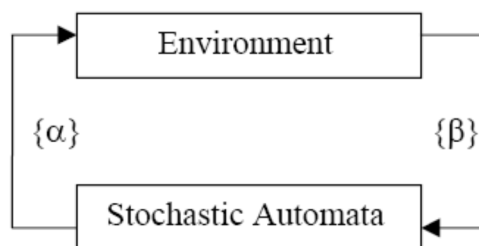
هر آتوماتا را می توان یک ماشین حالت متناهی در نظر گرفت که بوسیله پنج تایی  $SA = \{\alpha, \beta, F, G, \varphi\}$  قابل نمایش است. که در آن  $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه عمل های آتوماتا،  $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q\}$  مجموعه ورودی های آتوماتا،  $F = \varphi \times \beta \rightarrow \varphi$  تابعی که ورودی و حالت جاری را به حالت بعدی نگاشت می کند،  $G = \varphi \rightarrow \alpha$  تابع خروجی که حالت فعلی را به خروجی بعدی نگاشت می کند و  $\varphi(n) = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n\}$  مجموعه حالت های داخلی آتوماتا در لحظه  $n$  ام است.

حال اگر نگاشتهای  $F$  و  $G$  قطعی باشند، آتوماتا نیز آتوماتای قطعی خوانده می شود. در چنین حالتی با در دست داشتن حالت اولیه، ورودی و خروجی، حالت بعدی بصورت منحصر به فردی بدست می آید. حال اگر نگاشتهای  $F, G$  تصادفی باشند، آتوماتا نیز آتوماتای تصادفی خوانده می شود. در چنین حالتی فقط می توان احتمالات مربوط به حالت بعدی و نیز خروجی های مربوطه را مشخص نمود. آتوماتای تصادفی خود به دو دسته ی آتوماتا با ساختار ثابت و آتوماتا با ساختار متغیر تقسیم می شود. در نوع اول احتمالات مربوط به عمل های مختلف ثابت هستند اما در نوع دوم احتمالات در هر بار تکرار بهنگام می شوند.

محیط احتمالی را می توان بصورت ریاضی با سه تایی  $E = \{\alpha, \beta, C\}$  بیان نمود. که در آن  $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه ورودی های محیط،  $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q\}$  مجموعه خروجی های محیط و  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$  نیز مجموعه احتمال جریمه شدن عمل های خروجی آتوماتای احتمالی است.

مدل های مختلفی برای محیط های احتمالی تعریف شده است. در P-Model محیط مقادیر صفر و یک را بعنوان خروجی اختیار می کند. صفر به معنی پاداش و یک به معنی جریمه می باشد. در Q-Model مقادیر خروجی بصورت اعداد گسسته بین صفر و یک هستند و در S-Model خروجی محیط مقدار پیوسته ای بین صفر و یک می باشد. [۱۲]

رابطه بین محیط احتمالی و یک آتوماتای احتمالی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- رابطه ی بین آتوماتا و محیط احتمالی

بنابراین در نهایت SLA را می توان توسط پنج تایی  $SLA = \{\alpha, \beta, P, T, C\}$  نمایش داد. که در آن  $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه خروجی های آتوماتا یا ورودی های محیط،  $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q\}$  مجموعه ورودی های آتوماتا یا خروجی های محیط،  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_s\}$  بردار احتمالات،  $T = P(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$  الگوریتم یادگیر و  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$  مجموعه احتمالات جریمه ی تعریف شده برای محیط است. جهت سادگی ریاضی، هر یک از حالت های داخلی آتوماتا را بر یک عمل منحصر به فرد از آتوماتا منطبق می نمایند.

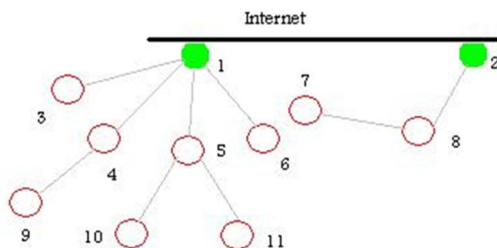
#### ۴. حیطه ی مسئله

مقاله بیشترین کاربرد شبکه‌های بی‌سیم تنیده فراهم نمودن دسترسی به اینترنت برای کاربران است. در این مقاله ترافیک شبکه از نوع ترافیک اینترنت فرض شده است. ویژگی چنین ترافیکی جریان داشتن آن بین گره‌های شبکه و گره‌های درگاه است، بدین معنی که هر جریان داده‌ای که از گره‌های شبکه منشأ می‌گیرد به سمت گره‌های درگاه هدایت می‌شود. در چنین شبکه‌ای بیشترین ترافیک در لینک‌هایی خواهد بود که به گره‌های درگاه نزدیکتر هستند. از طرفی نیازی به ایجاد لینک‌هایی جهت ارتباط گره‌های درون شبکه و کوتاه کردن مسیر جریان داده‌ای میان آنها نخواهد بود.

شبکه‌های مورد بحث در این مقاله بر یک بستر چند کاناله و چند رادیویی ستون فقراتی برای دسترسی کاربران به شبکه‌ی اینترنت فراهم می‌آورند. در این گونه شبکه‌ها یک یا چند گره در شبکه به عنوان گره‌ی درگاه شبکه‌ی بی‌سیم تنیده را به اینترنت متصل می‌کنند و سایر گره‌ها به عنوان مسیر یاب‌های تنیده عمل سرویس دهی به کاربران را انجام می‌دهند و در عین حال ترافیک را از گره‌های همسایه به سمت مقصد هدایت می‌کنند.

## ۵. معماری الگوریتم

به دلیل اینکه در این شبکه‌ها مسیر یاب‌های درگاه ترافیک بیشتری دارند و بنابراین باید تخصیص کانال پایدارتری داشته باشند تا از افزایش میزان تأخیر آنها جلوگیری شود. مسیر یاب‌ها بر اساس میزان نزدیکی آنها تا گره‌های درگاه اولویت بندی می‌شوند. یعنی گره‌های درگاه بیشترین اولویت را دارند و پس از آنها همسایه‌های تک گامی گره‌های درگاه و سپس همسایه‌های دو گامی آنها و به همین ترتیب، اولویت از بالا به پایین می‌گیرند. بنابراین یک ساختار سلسله مراتبی را می‌توان برای مسیر یاب‌ها متصور بود. که در این ساختار والد هر مسیر یاب، مسیر یابی است که از طریق آن می‌تواند ترافیک را به سمت گره‌های درگاه هدایت کند.



شکل ۲- نمونه‌ای از ساختار سلسله مراتبی شبکه‌ی بی‌سیم تنیده با ترافیک اینترنت

در این راهکار روی هر واسطه در هر مسیر یاب یک اتوماتای یادگیر در نظر گرفته می‌شود که برای انتخاب کانال مناسب برای این واسطه در این مسیر یاب تصمیم گیری می‌کند. در هر دو همسایه باید حداقل یک واسطه بر روی یک کانال مشترک تنظیم شوند تا یک اتصال را به وجود بیاورند. هر لینک در گراف اتصال بر روی کانالی تنظیم می‌شود که مسیر یاب با اولویت بالاتر تعیین می‌کند. بنابراین اولویت دهی به مسیر یاب‌ها از انتشار موجی تغییرات در شبکه جلوگیری خواهد کرد.

هر مسیر یاب موظف است یک کانال را به منظور اطمینان از حفظ اتصال شبکه به ارتباط با گره والدش تخصیص دهد. این تخصیص موجب تضمین حفظ اتصال شبکه است. اولویت دهی به گره‌ها نیز به واسطه‌ی آن است که اگر دو نود مجاور کانالی را برای اتصال دو لینک مختلف انتخاب کرده باشند کسی می‌تواند این کانال را نسبت دهد که اولویت بیشتری دارد.

در ابتدای کار هر اتوماتا، احتمال انتخاب همه کانال‌ها (به جز کانالی که برای ارتباط با والد تنظیم شده است) توسط اتوماتا یکسان است. هر اتوماتا یک کانال را به طور تصادفی برای تخصیص به واسطه مربوط به آن انتخاب می‌کند.

پس از تخصیص کانال در هر دور از الگوریتم در یک دوره زمانی نرخ ارسال مجدد بر روی هر لینک بین هر مسیر یاب و همسایه‌هایش محاسبه می‌شود. در اولین دور الگوریتم یادگیری این مقدار با یک مقدار آستانه اولیه مقایسه می‌شود و اگر از مقدار آستانه کمتر بود به عنوان پاسخ مطلوب محیط و اگر بیشتر بود به عنوان پاسخ نامطلوب محیط ارزیابی می‌شود. پس از اولین دور در دوره‌های بعدی یادگیری مقدار نرخ ارسال مجدد با مقدار قبلی آن مقایسه می‌شود و اگر بیشتر بود نامطلوب و اگر کمتر بود مطلوب در نظر گرفته می‌شود. این مسئله را می‌توان برای کانال  $i$  در دور  $n+1$  ام الگوریتم با رابطه‌ی ۱ بیان کرد:

$$\text{If } \text{RetransmissionRate}_{n+1}(i) < \text{RetransmissionRate}_n \text{ then} \quad (1)$$

$$B_{n+1} = 1 \text{ else } B_{n+1} = 0$$

بنابراین محیط مورد نظر هر اتوماتا در این راهکار یک محیط  $P$  است. در این راهکار از مدل پاداش و جریمه خطی استفاده می‌شود یعنی پس از هر دور تخصیص کانال اگر این تخصیص مطلوب ارزیابی شود احتمال انتخاب این کانال مطابق رابطه ۲ افزایش می‌یابد و احتمال انتخاب سایر کانال‌ها نیز مطابق رابطه ۳ کاهش می‌یابد و به همین صورت اگر پاسخ محیط نامطلوب باشد احتمال انتخاب این کانال برای این واسط کاهش می‌یابد و احتمال انتخاب سایر کانال‌ها افزایش می‌یابد.

$$P_i(n) = P_i(n) + a \times (1 - P_i(n)) \quad (۲)$$

$$P_j(n) = (1 - a)P_j(n) \quad (۳)$$

شبه کد الگوریتم معرفی شده در شکل ۳ مشخص شده است.

```
Method 1

//suppose P is the set of probability of each action of LA
//suppose r is the number of available channels
//suppose T is the time period between each phase of learning
//suppose RT(n) is the retransmission rate of n'th phase of learning
//suppose PDF(n) is the packet delivery factor of n'th phase of learning
//suppose each node has a priority that decrease when the number of hop to gateway is increase
//suppose each node has a parent that send data to gateway via this parent
//initialize the probability of each action (channel selection) in LA(Learning Automata)

P={P1..Pr} = 1/r

Repeat
{
    i= Select an action from 1..r according to P
    Switch interface of LA to selected channel (action)
    // network works with this channel assignment in a time period (T)
    Wait for T

    //calculate learning function
    RT(n)=calculate Retransmission Rate of this interface
    f(n)=RT(n)-RT(n-1)

    if(f(n)<f(n-1))
    B(n)=1
    else
    B(n)=0

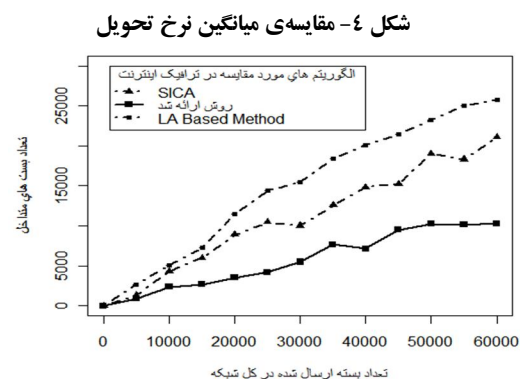
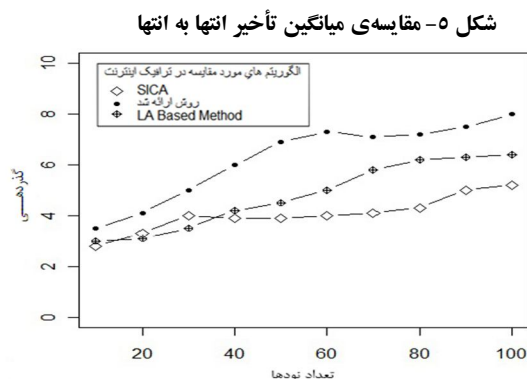
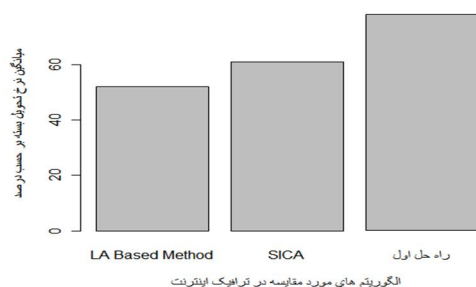
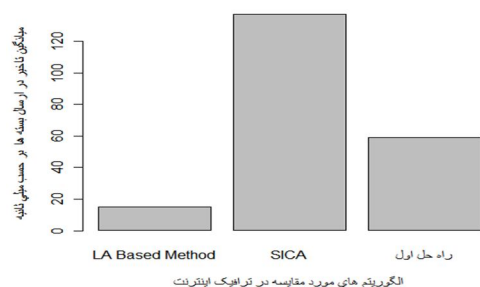
    if(B(n)==0)
    {
        Pi(n)= Pi(n) + a * (1-Pi(n))
        for other channel j=1..r and j!=i
        Pj(n)= (1-a) Pj(n)
    }
    else
    {
        Pi(n)= (1-b)Pi(n)
        for other channel j=1..r and j!=i
        Pj(n)= (b/(r-1))+(1-b) Pj(n)
    }

    Calculate PDF(n)
}
until (1-PDF(n)>Epsilon)
```

شکل ۳- شبه کد الگوریتم

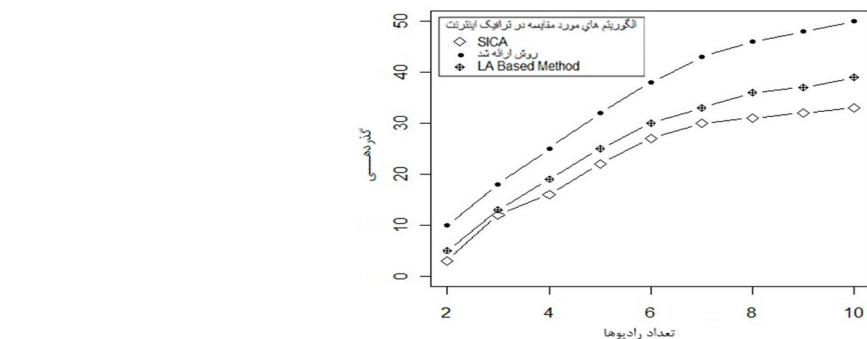
## ۶. نتایج شبیه سازی

الگوریتم ارائه شده به همراه دو الگوریتم دیگر در شبیه ساز NS3 شبیه سازی شدند. در این بخش نتایج شبیه سازی ها به صورت نمودارهایی ارائه شده است. این نمودارها با کمک نرم افزار تحلیل آماری R که یک نرم افزار متن باز و بسیار قدرتمند در این زمینه است رسم شده است. در ادامه، معیارهایی جهت مقایسه و ارزیابی راه کار ارائه شده، در نظر گرفته شده است. این معیارها شامل نرخ تحویل بسته، میانگین تأخیر انتها به انتها برای بسته ها و نرخ تداخل می باشد. در مدل پیاده سازی شده ۱۰۰ گره در مربعی به طول ۱۵۰۰ متر در یک توپولوژی گرید با فاصله های ۱۵۰ متر از یکدیگر چیده شده اند. پروتکل استفاده شده در شبیه سازی استاندارد IEEE802.11s است که در لایه شبکه آن از پروتکل HWMP استفاده شده است. هر مسیر یاب تنیده مجهز به ۳ رادیو با برد ۲۰۰ متر می باشد. جهت شبیه سازی لینک ها از مدل تأخیر ConstantSpeedPropagationDelayModel که یکی از مدل های استاندارد در NS3 است، استفاده شده است. روش معرفی شده در این مقاله با روش های ارائه شده در [۱۳] و [۹] مورد مقایسه قرار گرفته اند.



شکل ۵- مقایسه میانگین تأخیر انتها به انتها

شکل ۶- مقایسه نسبت بسته های متداخل به تعداد بسته های



شکل ۷- مقایسه نسبت بسته های متداخل به تعداد بسته های

شکل ۸- مقایسه گذردهی با تعداد رادیوهای مختلف

## ۷. بحث و نتیجه گیری

مطابق خروجی های بدست آمده از شبیه سازی الگوریتم ارائه شده در شبیه سازی ارائه شده، به نسبت روش های مقایسه شده عملکرد خوبی را از خود نشان داده است. دلیل این امر توجه به ویژگی خاص ترافیک اینترنت و اولویت دهی به گره های شبکه بر اساس همین ویژگی است. با توجه به اینکه محیط شبکه های

بی سیم یک محیط با پارامترهای ناشناخته است، استفاده از اتوماتای یادگیری که با توجه به بازخوردهای بدست آمده از محیط شبکه تصمیم گیری را انجام می دهد باعث ساده تر شدن الگوریتم و نیز پاسخگویی بهتر الگوریتم نسبت به شبکه و تغییرات محیط اطراف عامل می شود.

در این پایان نامه از میزن ارسال مجدد به عنوان بازخوردی از شبکه در اتوماتای یادگیر مورد استفاده قرار گرفته اند. در ادامه ی این کار می توان پارامترهای دیگری را به عنوان بازخورد شبکه مطرح کرد.

در ایده های مطرح شده از اتوماتای یادگیر در محیط P با سیستم پاداش و جریمه خطی استفاده شده است. اما اتوماتای یادگیر دارای ویژگی ها و انواع مختلفی است. بررسی بیشتر ویژگی های انواع مختلف اتوماتاها و استفاده بیشتر از ویژگی های به عنوان موضوعی برای کارهای آینده به جهت افزایش کارایی الگوریتم می تواند مطرح باشد.

استفاده ی از سایر ویژگی های خاص در شبکه های با کاربردهای خاص نیز شاید بتواند در بالا بردن کارایی شبکه در شبکه های با کاربرد خاص مفید باشد. اما استفاده از شیوه ای جامع که در شرایط مختلف و برای کاربردهای مختلف بتواند عملکردی مناسب داشته باشد، می تواند در شبکه های همه منظوره مؤثر واقع شود.

## ۸. قدردانی

از تمامی کسانی که در تهیه ی این مقاله یاری رسانده اند و تمام مراحل تحقیق از هیچ کمک و راهنمایی دریغ نکردند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

## ۹. مراجع

- [1] Krishnamurthy. L, Conner. S, Yarvis. M, Chhabra. J, Ellison. C, Brabenac. C, Tsui. E, Meeting the demands of the digital home with high-speed multi-hop wireless networks , Journal Of Intel Technology, vol. 4, no. 6 , 57-68, 2002.
- [2] Jun. J, Sichitiu. M.L, The nominal capacity of wireless mesh networks, IEEE Wireless Communications, vol. 5, no.10, 8-14, 2003.
- [3] Duarte. P. B. F, Fadlullah. Z. Md, Vasilakos. A. V and Kato. N, On the Partially Overlapped Channel Assignment on Wireless Mesh Network Backbone, A Game Theoretic Approach, Journal of IEEE Selected Areas in Communications, vol. 30, no. 1, 119-127, 2012.
- [4] Nezhad. M. A, Alabern. L. C, Zapata. M. G, Utility based channel assignment: A centralized channel assignment mechanism for multi radio multi channel wireless mesh networks, Scientific Research and Essays, vol. 7, no.35, 3077-3098, 2012.
- [5] Chen. J, Jia. J, Wen. Y, Zhao. D. and Liu. J, Optimization of resource allocation in multi-radio multi-channel wireless mesh networks, 9Int. Conf. Hybrid Intelligent Systems HIS, vol. 2, 2009.
- [6] Cheng. H, Yang. S, A genetic-inspired joint multicast routing and channel assignment algorithm in wireless mesh networks, The 8th Annual Workshop on Computational Intelligence, Leicester, UK, 2008.
- [7] Pediaditaki. S, Arrieta. P and Marina. M.K, A learning-based approach for distributed multi-radio channel allocation in wireless mesh networks, 17th IEEE International Conference on Network Protocols, 31-41, 2009.
- [8] Eslamnour. B, Zawodniok. M and Jagannathan. S, Dynamic channel allocation in wireless networks using adaptive learning automata, IEEE conference on Wireless Communications & Networking Conference, Budapest, Hungary, 1836-1841 , 2009.
- [9] بهشتی فرد. ضیاء ، میبدی. محمدرضا ، "بکارگیری اتوماتای یادگیر برای تخصیص کانال در شبکه های بی سیم تنیده"، در سومین کنفرانس ملی انجمن علمی فرماندهی و کنترل ایران ، صفحه ۴۷۱-۴۸۰، ۱۳۸۸.

- [10] Zhang. Y, Luo. J, Hu. H , Wireless mesh networking architectures protocols and standards, Auerbach Publications is an imprint of theTaylor & Francis Group, an informa business, 2007.
- [11] Akyildiz. I, Wang. X, and Wang. W, Wireless mesh networks: a survey, Computer Networks, vol. 47, no. 5, 445-487.
- [12] Najim. K and Poznyak. A.S, Learning Automata: Theory and Application, Elsevier Science Publiahing Ltd, 1994.
- [13] Nezhad. M. A, Alabern. L. C, Zapata. M. G, Channel Assignment protocols for Multi-Radio Multi-Channel Wireless Mesh Networks, PhD dissertation, UPC, 2013.