قطاع بندي ثابت چرخشي در سيستمهاي سلولي CDMA

محمد دوسرانيان مقدم، حسين ضميري و حسين خوشبين
دانشگاه فردوسي مشهد ـ دانشكده مهندسي ـ گروه برق

چكيده:
يكي از راهكارهاي افزايش ظرفيت سيستمهاي مخابرات سلولي بكارگيري روشهاي پرتوسازي نماد[1] آنتن‌ها است. در اين مقاله الگوريتم قطاع‌بندي ثابت چرخشي[2] براي سيستمهاي سلولي CDMA[3] پيشنهاد مي‌گردد كه در عين سادگي داراي كارائي خوبي است. در روش پيشنهادي قطاع‌هاي ثابت بطور گسسته طوري چرخانده مي‌شوند تا پراش[4] تفاضل بين SINR[5] كاربران در قطاع‌هاي ثابت كمينه گردد كه اين امر باعث افزايش ظرفيت سيستم سلولي مي‌گردد. شبيه‌سازيهاي انجام شده نشان مي‌دهد روش پيشنهادي براي توزيع يكنواخت كاربران (كه بدترين حالت توزيع است) افزايش قابل توجهي را نسبت به ظرفيت روش قطاع‌بندي ثابت[6] فراهم مي‌سازد.

كلمات كليدي: قطاع‌بندي ثابت، قطاع‌بندي ثابت چرخشي، CDMA

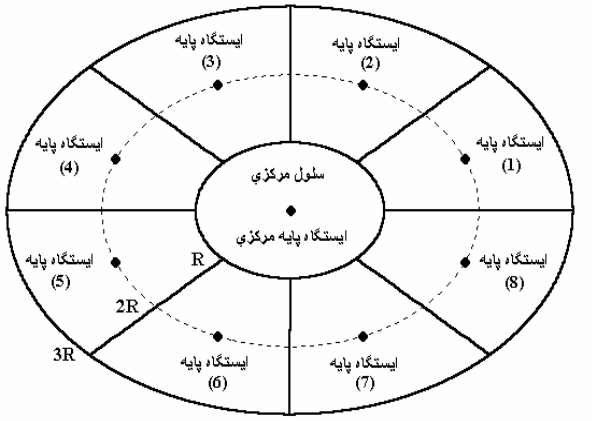
۱- مقدمه

با توجه به تقاضاي رو به رشد در سيستمهاي مخابراتي سيار، افزايش ظرفيت در ضمن برخورداري از يك كيفيت قابل قبول، يكي از اهداف مهم طراحان اين سيستمها مي‌باشد كه تكنيك CDMA امكان دسترسي ساده كاربران را همراه با كارائي استفاده از پهناي باند فراهم مي‌سازد. همچنين در اين راستا روشهاي قطاع‌بندي گوناگوني جهت كاهش تداخل و افزايش ظرفيت سيستمهاي سلولي CDMA پيشنهاد شده است و بطور كلي مي‌توان بيان نمود كه افزايش ظرفيت با تعداد قطاع‌ها در سلول متناسب است[4-1].

در اين مقاله يك روش ساده و در حين حال كارا براي قطاع‌بندي پيشنهاد مي‌شود كه آنرا قطاع‌بندي ثابت چرخشي مي‌ناميم. در اين روش گرچه زواياي قطاع ثابت است اما با چرخش قطاع ظرفيت سيستم افزايش مي‌يابد. نظر به اينكه چگونگي توزيع كاربران در مناطق شهري در طي شبانه‌روز متفاوت است مي‌توان با چرخاندن قطاع بطوريكه تعداد كاربران بيشتري پوشش داد، ظرفيت سيستم را افزايش داد.

در اين مقاله براي بررسي اثر تداخل در سيستمهاي سلولي CDMA از ساختار سلولي دايروي با يك رديف سلول همسايه كه در شكل ۱ ترسيم شده است، استفاده مي‌گردد. در ادامه معادله

[1] Pattern
[2] Rotatable Equal Sectorization (RES)
[3] Code Division Multiple Access (CDMA)
[4] Variance
[5] Signal-to-Interference-and-Noise-Ratio (SINR)
[6] Equal Sectorization



شکل ۱: ساختار سلولي با يك لايه سلول مجاور

ظرفيت در يك سيستم سلولي CDMA در بخش دوم بيان مي‌گردد و سپس الگوريتم قطاع‌بندي ثابت چرخشي در بخش سوم مورد بررسي قرار مي‌گيرد. در بخش چهار به شبيه‌سازي روش پيشنهادي و مقايسه با روش قطاع‌بندي ثابت پرداخته مي‌شود و بخش پنج شامل نتيجه‌گيريها خواهد بود.

۲- معادله ظرفيت

ظرفيت يك سيستم CDMA بر پايه شرايط عدم پذيرش تقاضا[7] تعريف مي‌گردد. عدم پذيرش تقاضا تحت شرايطي ايجاد مي‌گردد كه انرژي بيت به جمع تداخل و چگالي نويز حرارتي (E_b / N_0)، كمتر از يك سطح آستانه تعريف شدهٔ ε_R باشد. با فرض تقسيم هر سلول از ساختار شكل ۱ به N قطاع، مي‌توان E_b / N_0 براي كاربر i ام كه در قطاع n ام سلول مركزي (سلول كاربر اصلي) قرار دارد را به صورت زير بيان نمود[5].

$$\varepsilon_{i,n} = \frac{G_i P_i}{\sum_{j=1, j\neq i}^{k_n} \alpha_j P_j + I_n + \sigma_n^2} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق P_i توان دريافت شده از كاربر i ام توسط ايستگاه پايه مركزي، σ_n^2 توان نويز، $G_i = W / R_i$ بهره پردازش كاربر i ام، W پهناي باند سيستم ، R_i نرخ ارسال داده (كه براي سادگي $R_i = R_b, G_i = G$ فرض مي‌گردد)، k_n تعداد كاربران موجود در قطاع n ام سلول مركزي، I_n تداخل كاربران حاضر در سلولهاي مجاور كه در راستاي قطاع n ام سلول مركزي قرار دارند و α_j فاكتور فعاليت صدا[8] براي كاربر j ام است كه براي سادگي به ازاء تمام كاربران $\alpha_j = \alpha$ فرض مي‌گردد.

در اين مقاله همچنين فرض مي‌شود كه كنترل توان[9] در هر ايستگاه پايه اعمال مي‌گردد و در نتيجه تواني كه توسط اين ايستگاه پايه از طرف هر يك از كاربران در درون سلول مربوطه دريافت مي‌گردد ثابت در نظر گرفته مي‌شود و در نتيجه در رابطه ۱ ، براي $i = 1,..., k_n$ ، $P_i = P_c$ خواهد بود. در سيستم مورد بررسي با فرض عدم وجود انتشار چند مسيره[10] ، افت مسير انتشار يك كاربر كه در فاصله r از يك ايستگاه پايه قرار دارد (با فرض استفاده از آنتن‌هاي با نماد ايده‌آل) را مي‌توان به صورت زير بيان نمود[6].

$$P_L(r, \xi) = r^{-L}.10^{(\xi/10)} \qquad (۲)$$

در رابطه فوق L افت مسير[11] و ξ پارامتر سايه[12] است كه بصورت فرآيند نرمال گوسي[13] با ميانگين صفر و انحراف معيار σ_ξ مدل مي‌گردد.

با توجه به فرضيات فوق و با توجه به شكل ۲ تداخل بيرون سلولي در راستاي n امين قطاع از سلول مركزي را مي‌توان بصورت زير نوشت.

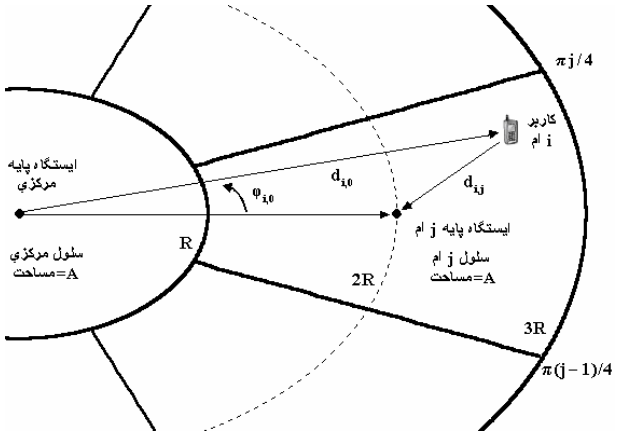
$$I_n = \sum_{i \in s_n(\theta)} P_C (d_{i,j} / d_{i,0})^L .10^{(\xi_0 - \xi_k)/10} \qquad (۳)$$

$$n = 1,..., N \quad , \quad \mathbf{1}^T \boldsymbol{\theta} = 2\pi$$

كه $d_{i,j} = \sqrt{(2R)^2 + (d_{i,0})^2 - 4R d_{i,0} \cos(\varphi_{i,0})}$ فاصله كاربر i ام از ايستگاه پايه j ام، $d_{i,0}$ فاصله كاربر i ام از ايستگاه

[7] Outage Condition

[8] Voice Activity
[9] Power Control
[10] Multipath Propagation
[11] Path Loss
[12] Shadow
[13] Log Normal



شكل(۲) : ساختار هندسي براي تعيين ميزان تداخل

پايه مركزي، ξ_o و ξ_k متغييرهاي تصادفي مستقل با ميانگين صفر و واريانس σ_ξ است كه $(\xi_o - \xi_k)$ داراي ميانگين صفر و واريانس $2\sigma_\xi^2$ مي‌باشد، $s_n(\theta)$ مجموعه كاربران مزاحم در سلولهاي مجاور است كه در امتداد n امين قطاع از سلول مركزي قرار دارند ، $\boldsymbol{\theta}$ بردار N تائي پوشش دهنده زواياي قطاع، $\mathbf{1}$ بردار N تائي با عناصر يك، L افت مسير و $\varphi_{i,0}$ زاويه‌اي است كه كاربر i ام با ايستگاه پايه مركزي و با سطح افق مي‌سازد.

۳- الگوريتم قطاع‌بندي ثابت چرخشي

يكي از روشهاي ساده در قطاع بندي سلول، روش قطاع‌بندي ثابت مي‌باشد كه براي هر قطاع زاويه پوشش يكساني را اختصاص مي‌دهد. با فرض تقسيم سلول به N قطاع با اندازه برابر، اگر كاربر جديدي در يك قطاع پر ازدحام تقاضاي مكالمه نمايد با رد تقاضا از طرف سيستم مواجه مي‌گردد در حالي كه امكان پذيرش اين تقاضا در قطاعهاي مجاور كه از تعداد تقاضاي كمتري برخوردارند وجود خواهد داشت. در نتيجه يكي از عيبهاي روش قطاع‌بندي ثابت (ES) ، عدم استفاده از ظرفيت‌هاي خالي قطاعهاي مجاور مي‌باشد.

براي رفع مشكل فوق، روشها و الگوريتم‌هاي متفاوتي براي قطاع‌بندي سلول ارائه شده است كه با يك هدف مشترك يعني افزايش ظرفيت سيستم پايه‌ريزي شده‌اند. در حالت كلي قطاع‌بندي را مي‌توان به دو دسته تقسيم نمود. دسته نخست قطاع‌بندي كليدي (سوئيچي) است كه در آن قطاع‌بندي، ثابت مي‌باشد و با توجه به اينكه كاربر در كدام قطاع قرار مي‌گيرد قطاع‌هاي گوناگون انتخاب مي‌گردد[3]. دسته دوم قطاع‌بندي تطبيقي[14] است كه با توجه به مكان كاربر، نماد آنتن بطور وفقي شكل‌دهي مي‌شود[7]. در هر دو روش انتخاب قطاع براي كاربران جداگانه و بر پايه مكان آنها برگزيده و يا شكل‌دهي مي‌شود كه پيچيدگي آنها بسيار بالا است.

در اينجا روشي پيشنهاد مي‌گردد كه از نقطه‌نظر قطاع‌بندي، تركيبي از دو روش بالا است اما ملاك قطاع‌بندي بر پايه مكان كاربران مورد نظر نمي‌باشد بلكه بر پايه كمينه كردن تفاوت نسبت توان سيگنال به توان تداخل بعلاوه نويز (SINR) مجموعة كل كاربران داخل قطاع‌ها اجرا مي‌گردد. در اين روش كه قطاع‌بندي ثابت چرخشي(RES) نام دارد، زاويه قطاع‌ها ثابت است اما بطور گسسته (كليدي) قابل چرخش مي‌باشد بر عكس روش قطاع‌بندي ثابت (ES) كه قطاع‌بندي يكبار صورت مي‌گيرد و براي هميشه ثابت است. اين روش در حين حفظ سادگي قطاع‌بندي ثابت و فقط با چرخش قطاع، امكان افزايش ظرفيت سيستمهاي سلولي را فراهم مي‌نمايد. شكل ۳ چگونگي قطاع‌بندي اين روش هنگامي كه زاويه قطاع ثابت و برابر ۱۲۰ درجه مي‌باشد را نشان مي‌دهد. در اين شكل ملاحظه مي‌گردد گرچه زاويه قطاع ثابت است اما به اندازه β درجه قابل چرخش به راست و يا چپ در هر مرحله مي‌باشد.

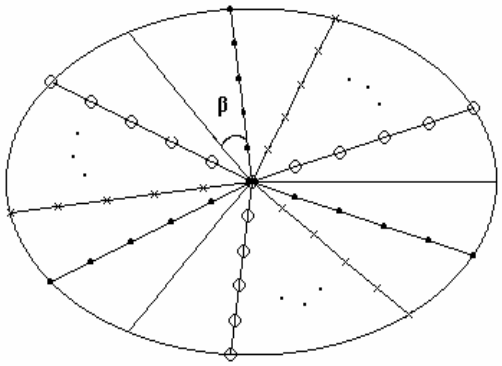
روند كلي الگوريتم قطاع‌بندي ثابت چرخشي در شكل ٤ نشان داده شده است. اين الگوريتم در ۳ مرحله ابتدائي[15]، ره‌يابي[16] و ردگيري[17] اجرا مي‌گردد.

در مرحله ابتدائي براي يك سلول با تعداد N قطاع، زواياي مرز $360(i-1)/N$ به ازاء $i = 1,...,N$ انتخاب مي‌گردد.

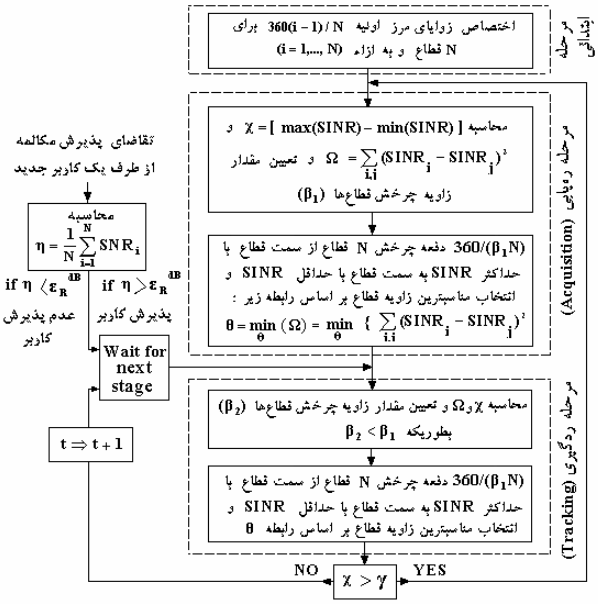
در مرحله بعد، اين الگوريتم به ره‌يابي زواياي مناسب براي

[14] Adaptive Sectorization
[15] Initial Stage
[16] Acquisition Stage
[17] Tracking Stage

β مقدار زاویه چرخش قطاع.
قطاع بندی اولیه (120 درجه‌ای).
قطاع بندی پس از اولین چرخش.
قطاع بندی پس از دومین چرخش.
قطاع بندی پس از $(\frac{120}{\beta}-1)$ امین چرخش.



شکل ۳: قطاع‌بندي سلول توسط روش RES



شکل٤ : ساختار الگوریتم RES

قطاع‌ها مي‌پردازد. در اين مرحله، پراش تفاضل بين SINR كاربران براي N قطاع (Ω)، تفاضل حداكثر و حداقل SINR قطاعها (χ) و زاويه چرخش قطاع‌ها (β_1) تعيين مي‌گردد.
سپس با توجه به مقدار β_1، از قطاع داراي حداكثر SINR به سمت قطاع با حداقل SINR ، تعداد $360/(\beta_1 N)$ دفعه چرخش (سوئيچ) صورت مي‌گيرد و بر اساس معيار كمينه نمودن پراش تفاضل بين SINR كاربران در N قطاع، مناسبترين زواياي مرز قطاع‌ها از رابطه زيرتعيين مي‌گردد:

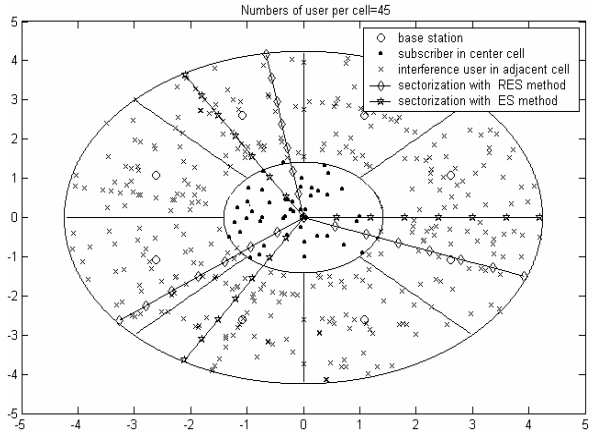
$$\boldsymbol{\theta} = \min_{\Theta} \ (\Omega) = \min_{\Theta}\{\sum_{i,j}(SINR_i - SINR_j)^2\} \qquad (٤)$$

كه در رابطه فوق $\boldsymbol{\theta}$ بردار N بعدي زواياي مرز براي N قطاع و Θ مجموعه كليه زواياي N قطاع طي $360/(\beta_1 N)$ گردش (سوئيچ) مي‌باشد.
پس از انتخاب مناسبترين مقدار $\boldsymbol{\theta}$ بر اساس معيار فوق در مرحله ره‌يابي، در اين مرحله از اجراي الگوريتم براي رسيدن به جواب دقيقتر، به ردگيري زواياي مرز قطاع‌ها پرداخته مي‌شود. بدين گونه كه زاويه چرخش قطاع‌ها (β_2) به ازاء $\beta_2 < \beta_1$ انتخاب مي‌گردد و نظير عمليات مرحله ره‌يابي در اين مرحله نيز انجام مي‌گيرد.
حال اگر كاربر جديدي تقاضاي مكالمه داشته باشد و يا مكان كاربران با تغييرات اندكي مواجه گردد، SINR در قطاع‌ها دچار تغيير چنداني نخواهد شد و در نتيجه مرحله جديد فرآيند انتخاب مقدار $\boldsymbol{\theta}$ مي‌تواند از مرحله ردگيري ادامه يابد. ولي در صورتي كه اختلاف حداكثر و حداقل SINR قطاعها (به علت تحرك زياد كاربران) از يك حد آستانه γ بيشتر شده باشد مرحله جديد انتخاب مقدار $\boldsymbol{\theta}$ بعد از مرحله ره‌يابي انجام مي‌پذيرد.

۴- نتايج شبيه‌سازي

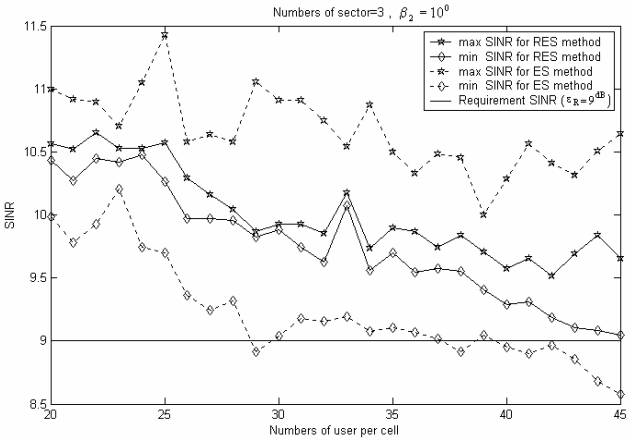
در اين بخش به شبيه‌سازي الگوريتم RES و مقايسه آن با روش ES مي‌پردازيم. در كليه شبيه‌سازيهاي انجام گرفته در اين بخش بهره پردازش $G = 128$، توان نويز $\sigma_n^2 = 4$ dB، توان ارسالي كاربران $P_c = 1$ Watt، انحراف معيار محوشدگي ناشي از سايه $\sigma_\xi = 8$ dB، افت مسير $L = 4$، پارامتر فعاليت صدا $\alpha = 0.5$، شعاع سلول $R = \sqrt{2}$ km، سطح آستانه $\gamma = 3$ dB و زاويه چرخش قطاع‌ها در مرحله ره‌يابي $\beta_1 = 2\beta_2$ مي‌باشد.

همچنين فرض مي‌شود كه كليه كاربران ضمن تحرك بطور يكنواخت در سلول توزيع شده‌اند. در شكل ٥ نحوه توزيع كاربران وهمچنين زواياي قطاع‌بندي براي روشهاي قطاع‌بندي ثابت چرخشي و قطاع‌بندي ثابت براي تعداد قطاع $N=3$ و تعداد ٤٥ كاربر در هر سلول ترسيم شده است.

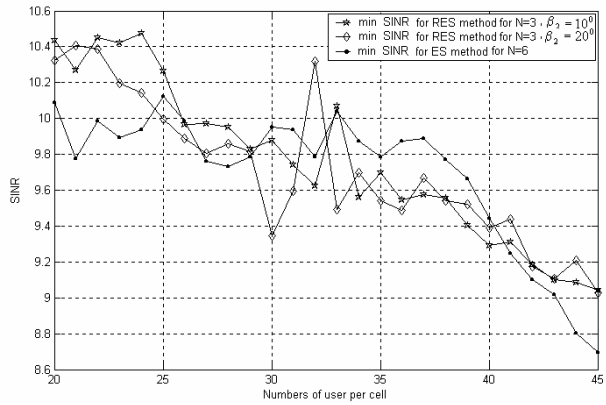


شكل٥: توزيع كاربران در سلول مركزي و يك رديف از سلولهاي مجاور و نحوه قطاع‌بندي براي دو روش ES وRES به ازاء $\beta_2 = 10^o$ ، كه مقدار زواياي قطاع به ترتيب $\boldsymbol{\theta} = (0,120,240)^o$ و $\boldsymbol{\theta} = (-20,100,220)^o$ شده است.

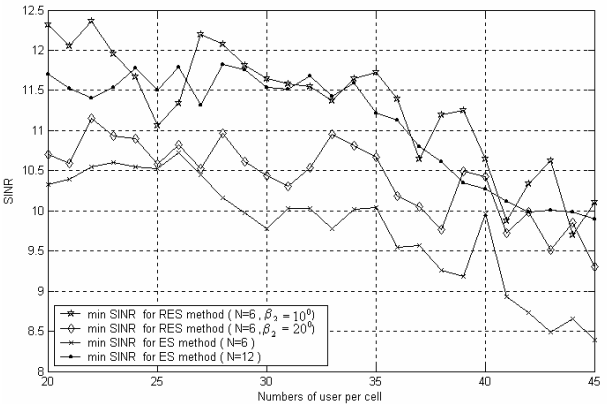
در شكل ٦، الگوريتم RES براي $\beta_2 = 10^o$ و تعداد قطاع $N=3$ با روش ES مقايسه شده است. با توجه به اين منحني ملاحظه مي‌گردد كه در روش RES، اختلاف حداكثر و حداقل SINR نسبت به روش ES كمتر است و در نتيجه هر منطقه‌اي از سلول براي پذيرش و يا عدم پذيرش تقاضا، شرايط تقريباً يكساني را خواهد داشت در حالي كه روش ES فاقد چنين مزيتي است. اين شبيه‌سازي نشان مي‌دهد كه ظرفيت در روش RES در بدترين حالت خود (توزيع يكنواخت كاربران) نسبت به روش قطاع‌بندي ثابت به مراتب بهتر است. يادآور مي‌شويم با توجه به اينكه در مناطق شهري توزيع كاربران وابسته به ساختار شهر، شرايط زماني و موقعيتهاي ويژه مي‌باشد، عملكرد روش RES به مراتب بهتر از نتايج بدست آمده براي توزيع يكنواخت كاربران خواهد بود.



شكل٦: حداكثر و حداقل SINR بر حسب تعداد كاربران در سلول براي تعداد قطاع $N=3$ و $\beta_2 = 10^o$



(الف)



(ب)

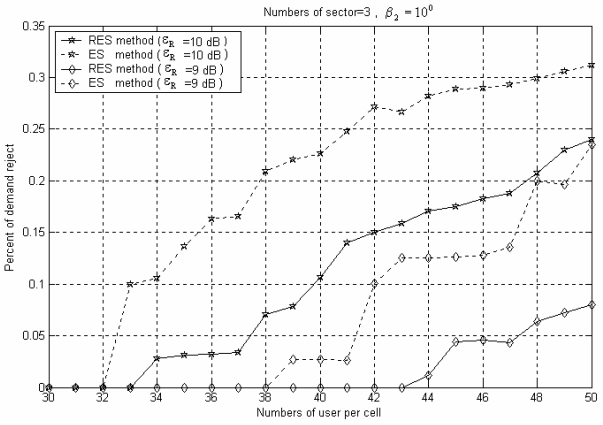
شكل ٧: مقايسه دو روش ES و RES به ازاء الف) $N = 3,6$ و $\beta_2 = 10^o, 20^o$ ب) $N = 6,12$ و $\beta_2 = 10^o, 20^o$

درمنحنـي‌هـاي شـكل ۷ كـاركرد الگـوريتم پيشـنهادي بـراي $\beta_2 = 10^o, 20^o$ و مقايسه آن با روش ES با تعداد قطاع بيشتر، نشان داده شده است. براين اساس و با توجه به شكل الف-۷ ملاحظه مي‌گردد كه روش پيشنهادي براي تعداد قطـاع $N = 3$ و به ازاء مقادير $\beta_2 = 10^o, 20^o$ نسبت به روش قطاع‌بندي ثابـت با تعداد قطاع $N = 6$ داراي عملكرد بهتري مي‌باشد. همچنـين در شكل ب-۷ نيز ملاحظه مي‌گردد كه روشRES بـه ازاء مقـادير $N = 6$ و $\beta_2 = 10^o$ داراي عملكرد بهتري نسبت به روش ES با تعداد قطاع $N = 12$ مي‌باشد در حالي كه به ازاء $\beta_2 = 20^o$ بـه علت درجه آزادي كمتر در چرخاندن قطاع داراي عملكرد مشـابه روش ES با تعداد قطاع $N = 6$ است.

در شكل ۸ ، درصد رد تقاضا براي تعـداد قطـاع $N = 3$ و بـراي حد آستانه پـذيرش تقاضـا $\varepsilon_R = 9^{dB}, 10^{dB}$ و بـه ازاء $\beta_2 = 10^o$ ترسيم شده است كـه ملاحظـه مـي‌گـردد روش پيشـنهادي RES داراي عملكردي به مراتب بهتر از روش ES مي‌باشد.

۵- نتيجه‌گيري

در اين مقاله روش ساده و نوين قطاع‌بندي ثابت چرخشي(RES) براي بهبود ظرفيت سيستمهاي سلولي CDMA پيشـنهاد شـد. در اين روش گرچه زواياي قطاع ثابت است اما قابل چرخش بطـور گسسته خواهند بود كه ملاك انتخاب زاويه چرخش كمينـه‌كـردن پراش اختلاف SINR كاربران مي‌باشد. شبيه‌سازيهاي انجام شـده نشان مي‌دهند ظرفيت در روش RES (بـراي توزيـع يكنواخـت كاربران) افزايش قابـل توجـه‌اي را نسـبت بـه روش ES فـراهم مي‌نمايد. يادآور مي‌شويم با توجـه بـه فـرض توزيـع يكنواخـت كاربران از كليه امكانات روش قطاع‌بندي ثابت چرخشـي(RES) جهت افزايش ظرفيت سيستم استفاده نشده است. نظر به اينكه در مناطق شهري توزيع كاربران وابسته به ساختار شهر، شرايط زماني و موقعيتهاي ويژه است افزايش كارائي روش RES در مقايسه با روش ES به مراتب بهتر از نتايجي است كه با توزيع يكنواخـت بدست آمده است.



شكل (۸): مقايسه درصد رد تقاضاي مكالمه

براي دو روش RES و ES

مراجع

[1] J. C. Liberti, T. S. Rappaport, "*Smart antennas for Wireless Communications IS -95 and Third Generation CDMA Applications*," prentice Hall PTR,1999.

[2] A. Sabharwal, D. Avidor and L. Pottrer, "Sector beam synthesis for cellular systems using phased antenna arrays," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 49,pp. 1784-1792 ,Sept. 2000.

[3] G. K. Chan, "Effects of sectorization on the spectrum efficiency of cellular radio systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 41,pp. 217-225,August. 1992.

[4] M. G Jansen and R. Prasad, "Capacity,throughput, and delay analysis of a cellular DS-CDMA system with imperfect power control and imperfect sectorization," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 44,pp. 67-75, Feb. 1995.

[5] A. M. Viterbi, and A. J. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, vol. 11(6),pp.892-899,1993.

[6] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A.J. viterbi, L. A. Weaver Jr., and C. E. Wheatly, "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Trans.Veh.Technol.*,vol.40,May 1991.

[7] C. U. Saraydar, A. Yener ,"Adaptive Cell Sectorization for CDMA systems," *IEEE Journal on selected areas in communications* , Vol.19, No.6, June 2001.