

راهکارهای سرزمین هوشمند

مستند فنی

اشتراک گذاری طیف

Spectrum Sharing

نسخه شماره ۱



*Smart Land Solutions*

## ۱- مقدمه

طیف رادیویی منبع با ارزشی است که در پیاده سازی بسیاری از خدمات ضروری جامعه مورد استفاده قرار می‌گیرد، همچون: پخش همگانی<sup>۱</sup> تلویزیون و رادیو، حمل و نقل، موقعیت یابی رادیویی<sup>۲</sup> و سایر کاربردها (زنگ هشدار<sup>۳</sup>، کنترل از راه دور، تجهیزات پزشکی و...). طیف رادیویی بخشی از طیف الکترومغناطیس<sup>۴</sup> در محدوده 3Hz تا 3000 GHz [۱] است.

امواج الکترومغناطیس در فرکانس‌های مختلف مشخصه‌های انتشار متفاوتی از خود نشان می‌دهد. قسمتی از طیف الکترومغناطیس بصورت نور مرئی است و قسمتی از آن مانند طیف رادیویی قابل رویت نیست. بخشی از امواج رادیویی در برخورد با یونسفر به سمت زمین منعکس می‌شوند. در حالیکه بخشی از امواج رادیویی از جو زمین عبور می‌کند. حاصل ضرب فرکانس هر موج الکترومغناطیسی در طول موج آن برابر است با سرعت نور:

$$c = f \times \lambda$$

در این رابطه  $f$  نماد فرکانس با واحد هرتز (Hz)،  $\lambda$  طول موج الکترومغناطیس با واحد متر و  $c$  سرعت نور<sup>۵</sup> با واحد متر بر ثانیه می‌باشد. با توجه به این رابطه امواج رادیویی با فرکانس پایین، طول موجی بالا خواهند داشت و بالعکس. طیف رادیویی توسط ITU<sup>۶</sup> به چندین دسته همچون فرکانس پایین<sup>۷</sup> (LF)، فرکانس میانی<sup>۸</sup> (MF) و فرکانس بالا<sup>۹</sup> (HF) تقسیم بندی شده است، در جدول زیر بخشی از دسته‌بندی گروه‌های فرکانسی و محدوده طول موج هر دسته آمده است.<sup>۱۰</sup>

جدول ۱- دسته بندی بخشی از طیف رادیویی و نمونه‌ای از کاربردهای هر محدوده طیفی

فرکانس	طول موج	ویژگی	نمونه‌ای از کاربردها
30-300 kHz	10-1 km	فرکانس پایین	کاربردهای نظامی، پخش اطلاعات هواشناسی، ناوبری رادیو، پخش همگانی رادیو
300 kHz – 3 MHz	1 km – 100 m	فرکانس میانه	ناوبری دریایی و هوایی، خدمات اضطراری، پخش همگانی دیجیتال
3-30 MHz	100-10 m	فرکانس بالا	سیستم‌های ارتباطی نظامی، حمل و نقل هوایی، رادیو آماتور، خدمات دریایی
30-300 MHz	10-1 m	فرکانس بسیار بالا	سیستم‌های تلفن همراه، پخش همگانی تلویزیون مودم‌های رادیویی

طیف رادیویی منبع محدودی محسوب می‌شود. شاید تا دو دهه پیش چگونگی تخصیص و مدیریت طیف رادیویی با وجود کاربران محدود آن مسئله مهمی محسوب نمی‌شد. اما با پیدایش فناوری‌های بی‌سیم گوناگون، افزایش تقاضای بازار تلفن همراه و محبوبیت رو به رشد خدمات ارتباطی بی‌سیم، تقاضای دسترسی به طیف افزایش چشم‌گیری یافته است. چنین رشد سریعی در تقاضای طیف، سازمان‌های ملی و بین‌المللی را بر آن داشته است که بدنبال راهکارهایی برای تخصیص طیف باشند.

هر سیستم مخابراتی بی‌سیم جهت عملکرد صحیح خود نیاز به تخصیص محدوده‌ای مشخص از طیف رادیویی بدون تداخل یا با آستانه تداخلی قابل پذیرش دارد. با توجه به محدودیت طیف رادیویی، نیاز به روش‌های بهینه مدیریت طیف رادیویی خواهد بود. هدف به اشتراک گذاری طیف<sup>۱۱</sup> به گونه‌ای مناسب و در راستای ایجاد همزیستی<sup>۱۲</sup> بین سیستم‌های مخابراتی است.

## ۲- همزیستی و به اشتراک گذاری طیف رادیویی

همزیستی و اشتراک طیف رادیویی توسط ITU بصورت زیر تعریف شده است:

”همزیستی به مفهوم به اشتراک گذاری برخی از منابع رادیویی (معمولاً طیف در یک ناحیه مشخص) است که لازمه آن عدم ایجاد مانع برای فعالیت سایر سیستم‌ها است.“

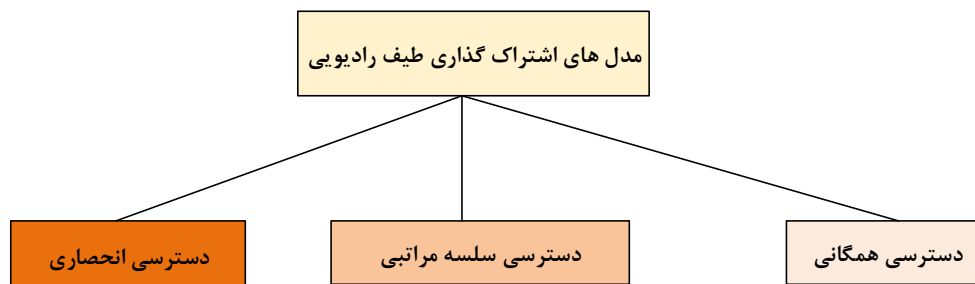
هدف اصلی اکثر روش‌های به اشتراک گذاری طیف بکارگیری یک روش همزیستی مناسب در جهت کاهش اثر منفی یک سیستم بر کارایی سیستم دیگری است. در سیستم‌های رادیویی کاهش این اثر منفی اغلب به مفهوم کمینه کردن اثر تداخل ما بین سیستم‌ها است. در این سیستم‌ها متریک‌های همزیستی متفاوتی را می‌توان در لایه‌های گوناگون سیستم بکار برد، البته اثر قطعی تداخل کاملاً وابسته به چگونگی پارامترهای ارسال سیگنال هر دو سیستم خواهد داشت، همچون توان ارسالی (مانند کنترل توان فرستنده)، فرکانس (انتخاب پویای فرکانس) و زمان (نوبت دهی<sup>۱۳</sup>) که بطور مستقیم بر متریک‌های همزیستی اثر گذار هستند. در مورد سیستم‌های چون رادیوهای SDR<sup>۱۴</sup> و یا رادیوهای شناختگر<sup>۱۵</sup> پارامترهای دیگری نیز به منظور بهبود همزیستی می‌توانند بکار گرفته شوند، همچون انتخاب مسیر (انتخاب مسیری با کمترین میزان تداخل)، ارتباط شبکه‌ای (اتصال به شبکه با ترافیک کمتر)، و پارامترهای لایه کاربرد<sup>۱۶</sup> (کاهش کیفیت ویدئو که پهنای باند اشغال شده را کاهش میدهد)<sup>[۲]</sup>. کاملاً روشن است که هر پارامتر و یا پردازش اثر گذار بر فعالیت فرستنده و گیرنده رادیویی را میتوان به منظور بالابردن قابلیت همزیستی شبکه‌های رادیویی بکار برد.

### ۳- مدل‌های به اشتراک گذاری طیف

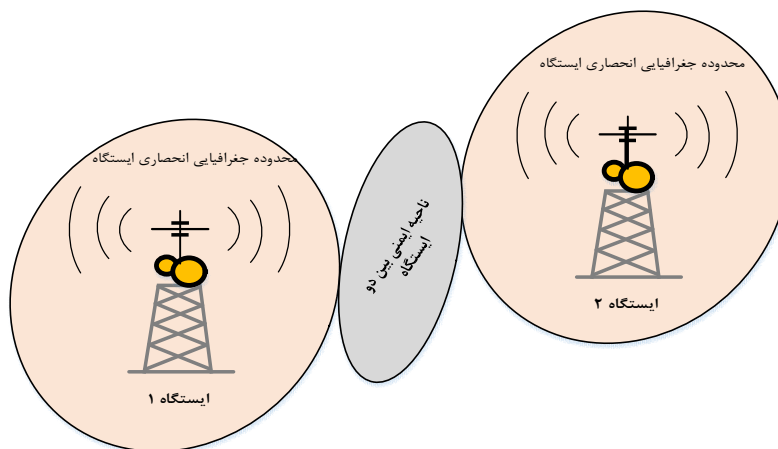
از آنجاییکه سیاست‌گذاری در زمینه چگونگی به اشتراک گذاری طیف و تصمیم‌گیری در مورد کاربری طیف و کاربران آن، اصلی‌ترین وظیفه تشکیلات رگولاتوری هر کشور است، تخصیص طیف مورد نیاز شبکه‌های تجاری پهن‌بند و شبکه‌های سلولی بی‌سیم بصورت انحصاری توسط رگولاتورها اجرا میشود. رگولاتوری ایالات متحده آمریکا، FCC<sup>۱۷</sup> همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده، اشتراک‌گذاری طیف را در سه دسته کلی دسته بندی نموده است [۳]:

#### ۳-۱- دسترسی انحصاری به طیف

در مدل انحصاری رگولاتوری متناسب با شرایط کشور و الگوهای جهانی، طیف را تقسیم‌بندی نموده و امتیاز استفاده از بخش مشخصی از طیف را با دریافت مبلغی به اپراتوری ویژه واگذار می‌کند. در چنین مدلی مشارکت سیستم‌های فعال در طیف فرکانسی در بخش‌های تفکیک شده از یکدیگر در حوزه فرکانس و مکان صورت می‌گیرد. عمده‌ترین مزیت حق استفاده انحصاری طیف، عدم ایجاد تداخل توسط سایر سیستم‌ها بر روی شبکه دارنده مجوز است. لیکن میزان انعطاف پذیری در تخصیص طیف کاهش می‌یابد. در حوزه تجاری مجوزهای طیف اغلب مقید به الزاماتی هستند که باید توسط دارندگان آنها برآورده شوند، بعنوان نمونه فناوری ارسال سال مشخصی (همچون تخصیص باند به شبکه‌های تلفن همراه، که دارنده پروانه تنها مجاز به بکارگیری فناوری‌های تلفن همراه قید شده در پروانه خود خواهد بود) اجازه فعالیت در یک باند را دارد.



شکل ۱- مدل‌های اشتراک گذاری طیف رادیویی



شکل ۲- ناحیه جغرافیایی ما بین دو ایستگاه که طیف رادیویی استفاده نمی شود

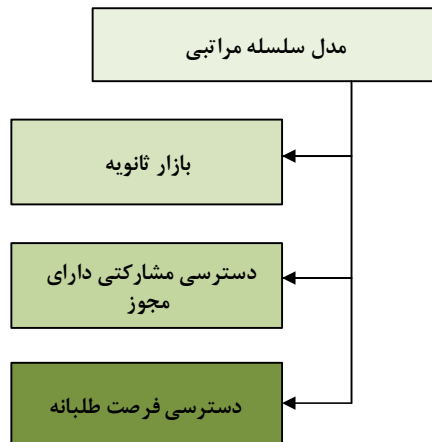
سیستم‌های پخش همگانی تلویزیون نمونه‌ای از تخصیص انحصاری طیف هستند. بواسطه ماهیت فناوری پخش همگانی جهت پیش‌گیری از تداخل ایستگاه‌های TV با یکدیگر، لازم است ایستگاه‌های هم‌کانال یا ایستگاه‌های روی کانال‌های همسایه فاصله جغرافیایی مناسب را رعایت نمایند. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است با رعایت این فواصل بین ایستگاه‌ها، نواحی جغرافیایی مشخصی میان ایستگاه‌های هم‌کانال وجود خواهند داشت که خالی از سیگنال TV بوده در این سیستم‌ها در حوزه‌های مکان، زمان و فرکانس فضاهای بدون استفاده ایجاد می‌شود. مدل تخصیص انحصاری اگرچه در ابتدا برای اپراتورها مطلوب محسوب می‌شد، اما با رشد ترافیک بی‌سیم بسیار فراتر از آنچه تخمین زده شده بود، دیگر مناسب نخواهد بود. با ظهور دستگاه‌های پهن‌بند بسیار نظیر گوشی‌های هوشمند و تبلت‌ها که به موازات گسترش شبکه‌های اجتماعی ناشی شده است، باید به موضوع نیاز گسترده به طیف نگاه دقیق‌تری داشت و این منبع کمیاب به صورت مؤثرتری مورد استفاده قرار گیرد.

### مدل سلسله مراتبی اشتراک طیف

همانطور که بیان شد در مدل انحصاری طیف رادیویی به صورت پهنه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، مدل سلسله‌مراتبی با هدف اشتراک‌گذاری بیشتر طیف و انعطاف پذیر ساختن مدل انحصاری شکل گرفت. از آنجائیکه در مدل انحصاری، طیف تخصیص داده شده ممکن است بطور کامل در تمام زمان‌ها و مکان‌ها توسط دارنده مجوز یا همان سیستم اولیه<sup>۱۸</sup> (بعنوان نمونه سیستم پخش همگانی شکل ۲) مورد استفاده قرار نگیرد، در نتیجه حقوق دسترسی به طیف را می‌توان به سایر کاربران رادیویی (بعنوان سیستم ثانویه<sup>۱۹</sup>)، بر اساس قوانین و رویه‌هایی مشخص واگذار نمود. در واقع در این مدل منابع طیفی بر اساس اولویت مشخص بین سیستم اولیه و ثانویه به اشتراک‌گذارده می‌شود. دسترسی سیستم ثانویه به طیف اولیه می‌تواند بر اساس ساز و کاری مشخص یا بصورت فرصت طلبانه<sup>۲۰</sup> صورت گیرد.

از جمله راه‌کارهایی که جهت همزیستی سلسله‌مراتبی، بر اساس ساز و کار ویژه‌ای در حال حاضر مطرح شده‌اند می‌توان از بازار ثانویه طیف [۳ و ۴] و سیستم‌های دسترسی مشارکتی دارای مجوز (LSA<sup>۲۱</sup>) [۵] نام برد. در مدل بازار ثانویه ساختار کنونی تخصیص طیف توسط رگولاتور حفظ شده و پروانه استفاده از محدوده‌های طیف رادیویی به سرویس‌هایی مشخص داده می‌شود. از آنجایی که همواره این احتمال وجود دارد که طیف تخصیص داده شده بطور کامل در تمام زمان‌ها و مکان‌ها توسط دارنده پروانه مورد استفاده قرار نگیرد، حقوق دسترسی به طیف بر اساس قوانینی مشخص به کاربرانی ثانویه واگذار می‌گردد. بر اساس این رویکرد، دارنده پروانه (اولیه) می‌تواند حقوق دسترسی به طیفی را که مالک آن محسوب می‌شود با کاربر ثانویه برای یک دوره زمانی مشخص مبادله نماید. مفهوم دسترسی مشارکتی دارای مجوز (LSA) توسط گروه سیاست‌های طیف رادیویی (RSPG<sup>۲۲</sup>) کمیسیون اروپا، برای به اشتراک‌گذاری طیف دارای مجوز میان یک کاربر اولیه و یک اپراتور تلفن همراه معرفی شد. اشتراک طیفی در این مدل وقتی اتفاق می‌افتد که کاربر اولیه طیف به صورت پیوسته زمانی، از طیف در اختیار خود استفاده نمی‌کنند و استفاده آنها از طیف به ناحیه جغرافیایی خاصی محدود می‌شود. در این مدل مجوز ارائه سرویس در ناحیه جغرافیایی مشخص، بدون وجود تداخل مخرب، به سیستم ثانویه داده می‌شود. مفهوم LSA به صورت موفقیت‌آمیزی برای شبکه‌های LTE<sup>۲۳</sup> کنونی مورد استفاده قرار گرفته است. فرایند استانداردسازی LSA از سال ۲۰۱۳ در مؤسسه ETSI<sup>۲۴</sup> شروع شد و آخر ۲۰۱۵ نسخه اولیه آن به پایان رسید. در حال حاضر شرکت Nokia،

مؤسسه های ETSI و IEEE نمونه های آزمایشی از LSA را به نمایش گذارده اند. مؤسسه استانداردگذاری ETSI در سند ETSI TR 103 113، چارچوب مقرراتی حاکم بر مفهوم LSA و همچنین یک مثال از مشخصات فنی مناسب برای باند فرکانسی ۲۳۰۰ مگاهرتز تا ۲۴۰۰ مگاهرتز را ارائه کرده است. سازندگان متعددی قبلاً تجهیزات چند بانندی مشتعل بر این باند فرکانسی را تولید کرده اند.



شکل ۳- مدل های دسترسی سلسله مراتبی

مدل اشتراک گذاری فرصت طلبانه در واقع راه کار هوشمندانه دیگری برای گسترش سرویس های داده است. فناوری های فرصت طلبانه می توانند بازدهی بهره برداری از طیف را از طریق دسترسی و اشتراک پویا<sup>۲۵</sup> در طیف به میزان مناسبی بالا برند. این فناوری ها بصورت هوشمندانه اقدام به شناسایی بخش های بدون استفاده طیف در مکان، زمان و یا فرکانس نموده، و بصورت فرصت طلبانه و بدون ایجاد تداخل مخرب برای سیستم اولیه دارای پروانه اقدام به بهره گیری از منابع طیفی شناسایی شده می نمایند. نمونه بسیار موفق این روش استفاده از فضاهای سفید<sup>۲۶</sup> باند TV است. با گذر سیستم تلویزیون آنالوگ به دیجیتال و بازدهی طیفی بالاتر سیستم تلویزیونی دیجیتال نسبت به مدل آنالوگ، موجب فراهم شدن فضاهای سفید مناسبی برای ارائه خدمات بی سیم در محدوده طیفی فرکانس پایین باندهای TV و بهره مندی از ویژگی های بسیار مناسب این محدوده طیفی گردیده است.

### ۳-۲- مدل همگانی اشتراک طیف

در مدل دسترسی همگانی، پروانه ای به کاربران داده نشده و تمام کاربران از حق یکسانی برای دسترسی به طیف برخوردار هستند. این مدل از اشتراک طیف بطور ویژه در باندهای بدون مجوز ISM(2.4 GHz) و U-NII(5GHz) اجرا شده است. در این مدل تنها قید اعمال شده بر کاربران نهایی، بیشینه توان ارسال می باشد که محدود شده است؛ همچون تجهیزات WiFi و Bluetooth. اما از آنجائیکه هیچ کنترلی بر دسترسی به این طیف وجود ندارد، کاربران متحمل تداخل می شوند. این مسئله با عنوان تراژدی همگانی [۶] مطرح شده است. در برخی مدل ها جهت کاهش اثر تداخلی سیستم های همگانی بر یکدیگر از ساختاری مدیریت شده استفاده می شود. بدین صورت که سیستم جهت دستیابی به طیف همگانی باید قوانین و محدودیت های ویژه ای را بر اساس پروتکل سیستم مدیریت مرکزی رعایت کنند.

## مراجع

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Radio\\_spectrum](https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_spectrum)
- [2] SDR Working Document, "Towards a Preliminary Draft New Report on Cognitive Radio in Land Mobile Service", January 2008.
- [3] Federal communications commission: spectrum policy task force report, Federal Communications Commission ET Docket 02-135, November 2002
- [4] L. Berlemann, S. Mangold, "Cognitive Radio and Dynamic Spectrum Access", Wiley, 2009.
- [5] Jon M. Peha, "Sharing Spectrum through Spectrum Policy Reform and Cognitive Radio," Proceedings of the IEEE, Volume 97, Number 4, pp. 708-719, April 2009.

- [6] ITU-R SG 1/WP 1B workshop: spectrum management issues on the use of the white space, “*Introduction of new spectrum sharing concepts: LSA and WSD*,” Geneva, 20 January 2014

## زیرنویس‌ها

- 1 Broadcasting
- 2 Radio location
- 3 Alarm
- 4 Electromagnetic spectrum

۵ سرعت نور مقدار ثابت  $3 \times 10^8$  m/s می‌باشد

- 6 International Telecommunication Union
- 7 Low frequency
- 8 Medium frequency
- 9 High frequency

۱۰ جهت مطالعه سایر گروه‌های فرکانسی [https://en.wikipedia.org/wiki/Radio\\_frequency](https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_frequency)

- 11 Spectrum sharing
- 12 Coexistence
- 13 scheduling
- 14 Software defined radio
- 15 Cognitive radio
- 16 Application layer
- ۱۷ Federal Communications Commission
- 18 Primary
- 19 Secondary
- 20 Opportunistic
- 21 Licensed Shared Access
- 22 Radio Spectrum Policy Group
- 23 Long-Term Evolution
- 24 European Telecommunications Standards Institute
- 25 Dynamic
- 26 White spaces



راهکار سرزمین هوشمند یک شرکت پیشرو در حوزه فن آوری اطلاعات است. عمده فعالیت این شرکت دانش بنیان صنعتی در بخش backend موبایلی، خدمات ارزش افزوده موبایلی، طراحی و پیاده سازی نرم افزارهای موبایلی، سیستم های اطلاعاتی، امنیت مجازی پایش و پالایش اخبار متمرکز است.

تهران خیابان کارگر شمالی، پارک علم و فن آوری دانشگاه تهران، ساختمان شماره ۳ - ۱۱۰۸۸۷۲۰۱۱ - www.sls.ir