جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

آیین‌نامه ارتباطات رادیویی ایران

جلد اول:

راه‌کارهای ارتباطات رادیویی درون‌ساختمانی

ضابطه شماره ۱-۷۰۰

ویرایش: ۱۶-۰۳-۱۴۰۵

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی و اجرایی

nezamfanni.ir

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

معاونت تحقیقات

bhrc.ac.ir

سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی

معاونت امور رادیویی

cra.ir

۱۴۰۵

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رئیس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره :** ۱۴۰۵/۳۸۸۶۶۰
	تاریخ : ۱۴۰۵/۰۷/۲۹

به استناد ماده(۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور و تبصره ذیل بند(۳-۱) ماده(۴) «سند نظام فنی‌واجرایی یکپارچه کشور»، موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۰۵۴۴/ت۶۳۷۱۹ه مورخ ۱۴۰۴/۰۳/۰۶ هیئت وزیران؛ ضابطه پیوست با مشخصات زیر ابلاغ و در«سامانه نظام فنی‌واجرایی کشور» به نشانی Nezamfanni.ir منتشر می‌شود:

عنوان:	**آیین‌نامه ارتباطات رادیویی ایران** **جلد اول : راهکارهای ارتباطات رادیویی درون ساختمانی**
شماره ضابطه:	**۱-۷۰۰**
نوع ابلاغ:	لازم الاجرا (به استناد بند ۲۸ ماده (۱) سند نظام فنی و اجرایی یکپارچه کشور)
حوزه شمول:	همه قراردادهای جدیدی که از محل وجوه عمومی ویا به صورت مشارکت عمومی-خصوصی منعقد می‌شوند.
تاریخ اجرا:	۱۴۰۶/۰۱/۰۱ (مهلت اجرای بین تاریخ ابلاغ و تاریخ اجرا، به استناد بند ۳-۳ ماده (۴) سند نظام فنی و اجرایی یکپارچه کشور و به منظور اتخاذ تمهیدات لازم برای اجرای ضابطه و ملاحظات ارجاع کار می باشد.)
متولی تهیه، اخذ بازخورد و اصلاح:	سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی
مرجع اعلام اصلاحات:	امور نظام فنی‌واجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور

سیدحمید پورمحمدی

رونوشت :
معاونت حقوقی ریاست جمهوری – سامانه ملی قوانین و مقررات جمهوری اسلامی ایران
امور حقوقی قوانین و مقررات
مرکز روابط عمومی، امور بین‌الملل و مدیریت دانش
دبیرخانه مرکزی سازمان

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی معاونت فنی، زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با همکاری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است.

نظر به تهیه این ضابطه به وسیله آن مرکز، مسئولیت مطالب تهیه شده، تفسیر و اصلاح آن با آن مجموعه می‌باشد. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، دریافت کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور اعلام خواهد کرد.

با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست از این‌رو، از شما خوانندهٔ گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را منعکس فرمایید. کارشناسان مربوط، نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر شما قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه:

تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱ سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

web: nezamfanni.ir Email: nezamfanni@chmail.ir

تهران، بزرگراه شیخ فضل‌ا..نوری، جنب شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

کدپستی : ۱۴۶۳۹۱۷۱۵۱ شناسه پستی: ۱۴۶۳۹۱۷۱۵۱ صندوق‌پستی : ۱۶۹۶ - ۱۳۱۴۵

web: www.bhrc.ac.ir Email : info@bhrc.ac.ir

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

پیشگفتار:

تدوین، بازنگری و به‌روزرسانی ضوابط و دستورالعمل‌های فنی، از الزامات ارتقای کیفیت طرح‌های عمرانی و هماهنگی میان مراحل مطالعه، طراحی، اجرا و بهره‌برداری است. سازمان برنامه و بودجه کشور در چهارچوب وظایف و مسئولیت‌های قانونی خود، به‌ویژه مفاد ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور و آیین‌نامه اجرایی آن، تدوین و ابلاغ ضوابط فنی و اجرایی را دنبال می‌کند تا مبنایی منسجم برای فعالیت عوامل طرح‌های عمرانی فراهم شود.

معاونت فنی، زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، در جایگاه متولی نظام فنی و اجرایی کشور، شناسایی نیازهای ضابطه‌ای، هدایت فرآیند تدوین و بازنگری اسناد فنی و بهره‌گیری از دانش متخصصان و تجربه‌های اجرایی را بر عهده دارد. این معاونت با توجه به تحولات فناوری و نیازهای روز کشور، تلاش می‌کند ضوابط فنی با شرایط اجرایی، مقتضیات بومی و الزامات قانونی هماهنگ باشد و زمینه ارتقای کیفیت، ایمنی و قابلیت بهره‌برداری از طرح‌ها را فراهم کند.

گسترش استفاده از خدمات تلفن همراه و افزایش وابستگی فعالیت‌های روزمره و حرفه‌ای به ارتباطات پایدار، ضرورت توجه به کیفیت پوشش شبکه در داخل ساختمان‌ها را افزایش داده است. ویژگی‌های فیزیکی ساختمان، به‌ویژه در ساختمان‌های بزرگ، مرتفع و دارای طبقات زیرزمین، می‌تواند موجب تضعیف سیگنال و کاهش کیفیت خدمات شود. ازاین‌رو، طراحی و اجرای تاسیسات ارتباطات رادیویی داخل ساختمان به چهارچوبی فنی نیاز دارد که نیازسنجی، انتخاب راه‌کار، هماهنگی با اپراتور، تامین و نصب تجهیزات، آزمون و تحویل سیستم را به‌صورت منسجم پوشش دهد.

ضابطه حاضر با مشارکت متخصصان حوزه‌های ارتباطات رادیویی، تاسیسات ساختمان و بهره‌برداری تدوین شده است تا معیارهای لازم برای تصمیم‌گیری و اقدام عوامل پروژه را در اختیار آنان قرار دهد. اما با وجود تلاش و دقت صرف‌شده در تدوین این ضابطه، احتمال وجود کاستی یا ابهام در برخی مطالب آن منتفی نیست. از سوی دیگر، تحولات سریع فناوری‌های ارتباطی و تغییر الزامات فنی و اجرایی، بازنگری و به‌روزرسانی مستمر این ضابطه را ضروری می‌سازد. ازاین‌رو، امور نظام فنی و اجرایی مسئولیت پایش، دریافت بازخوردها، بررسی دیدگاه‌های تخصصی و پیگیری اصلاح و تکمیل این ضابطه را بر عهده دارد. از کارشناسان، متخصصان و دیگر استفاده‌کنندگان درخواست می‌شود موارد اصلاحی و پیشنهادهای خود را برای بررسی به ایمیل Email: nezamfanni@chmail.ir ارسال کنند. اصلاحات تاییدشده از طریق پایگاه اطلاع‌رسانی نظام فنی و اجرایی کشور اعلام خواهد شد. تاریخ تدوین یا بازنگری مطالب در بالای صفحات درج می‌شود و در صورت تغییر محتوای هر صفحه، متن دارای تاریخ جدیدتر اعتبار خواهد داشت.

حمید امانی همدانی

معاون فنی، زیربنایی و تولیدی

تابستان ۱۴۰۵

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

ضابطه ارتباطات رادیویی ایران

جلد اول: راه‌کارهای ارتباطات رادیویی درون‌ساختمانی

[ضابطه شماره ۱-۷۰۰]

اعضای کمیته تدوین:

حامد رشیدی اقدم	رئیس کمیته	کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک
کامبیز نصیری اعظم	دبیر کمیته	کارشناس ارشد شبکه
سیدحسن سیدموسوی	عضو کمیته	دکتری مهندسی برق - مخابرات
ادیب کامرانی	عضو کمیته	کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک
شیدا قنبرلو	عضو کمیته	کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک
غلامرضا نوشیروانی بابلی	عضو کمیته	دکتری مهندسی برق - کنترل
مهدی وکیلی	عضو کمیته	کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک
بابک ایزدپناه	عضو کمیته	کارشناسی مهندسی برق - مخابرات
علی نوده فراهانی	عضو کمیته	کارشناسی مهندسی برق - مخابرات
محمد نبی‌پور	عضو کمیته	دکتری مهندسی برق - مخابرات
امیر صدقیانی	عضو کمیته	دکتری مهندسی برق - مخابرات
مهدی صادقی	عضو کمیته	کارشناسی ارشد مهندسی برق - کنترل

در تهیه این ضابطه افراد زیر با کمیته تدوین همکاری داشته‌اند:

دکتر عظیم فرد　　مهندس فاطمه ایزدی　　مهندس مرتضی سماواتی همدانی

اعضای کمیته نظارت و راهبری فنی:

مهندس علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی و اجرایی
دکتر سیدمحمدحسن جوادزاده	معاون امور رادیویی سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی
مهندس ایرج مکرمی	مدیرکل اداره‌کل صدور پروانه سرویس‌های رادیویی سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی
مهندس حامد رشیدی اقدم	رئیس بخش پایش و هوشمندسازی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور):

مهندس علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی و اجرایی
مهندس علیرضا فخر رحیمی	کارشناس امور نظام فنی و اجرایی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱-۱- دامنه پوشش	۳
۱-۲- تعاریف و اصطلاحات	۳
۱-۲-۱- دستگاه تقویت کننده فعال سیگنال رادیویی شبکه تلفن همراه	۳
۱-۲-۲- دستگاه تقویت کننده غیرفعال سیگنال رادیویی شبکه تلفن همراه	۳
۱-۲-۳- ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده	۳
۱-۲-۴- پخش زائد	۳
۱-۲-۵- درون‌ساختمانی	۴
۱-۲-۶- برون ساختمانی	۴
۱-۲-۷- عدد نویز	۴
۱-۲-۸- بهره آنتن	۴
۱-۲-۹- توان تشعشعی همسان‌گرد معادل	۴
۱-۲-۱۰- سلول بزرگ	۴
۱-۲-۱۱- سلول کوچک	۵
۱-۲-۱۲- سیستم آنتن‌های توزیع‌شده (DAS)	۵
۱-۲-۱۳- منبع سیگنال	۵
۱-۲-۱۴- فناوری‌های توزیع سیگنال	۵
۱-۲-۱۵- تکرارکننده	۶
۱-۲-۱۶- شبکه مویرگی	۶
۱-۲-۱۷- بهره‌بردار	۶
۱-۲-۱۸- اپراتور	۶
۱-۳- مستندات بالا دست	۶
۱-۳-۱- مستندات داخل کشور	۶
۱-۳-۲- مستندات رگولاتوری خارج از کشور	۷
۱-۴- ویژگی‌ها و مقایسه سلول‌ها	۷
۱-۴-۱- سلول بزرگ	۷
۱-۴-۲- سلول‌های کوچک	۸
۱-۵- سیستم آنتن‌های توزیع‌شده (DAS)	۱۰
۱-۵-۱- منبع سیگنال	۱۱

omoorepeyman.ir

۱-۵-۲- عملکرد سیستم DAS ۱۳
۱-۵-۳- فناوری‌های توزیع سیگنال ۱۳
۱-۵-۴- پیکربندی‌های رایج ۱۷
۱-۶- تقویت کننده ۱۸
۱-۶-۱- اهم الزامات فنی تقویت‌کننده‌ها ۱۹
۱-۶-۲- الزامات عمومی ۱۹
۱-۷- تعیین منبع و فناوری توزیع سیگنال ۲۰
۱-۷-۱- عوامل کلیدی ۲۰
۱-۷-۲- گام‌های لازم الاجرا ۲۰
۱-۷-۳- فناوری منتخب بر حسب منبع سیگنال و فناوری توزیع سیگنال ۲۱
۱-۷-۴- الزامات ۲۲
۱-۸- توضیحات فنی راه‌کارهای IBS ۲۴
۱-۸-۱- سلول‌های کوچک ۲۵
۱-۸-۲- سیستم DAS ۲۸
۱-۸-۳- راه‌کار تقویت‌کننده ۳۲
۱-۹- فرآیند انجام کار ۳۵
۱-۹-۱- شناسایی نیازها و ارزیابی اولیه ۳۵
۱-۹-۲- بررسی محیطی پارامترهای شبکه رادیویی و اندازه‌گیری سطح و کیفیت سیگنال شبکه ارتباطی اپراتور ۳۶
۱-۹-۳- انتخاب راه‌کار مناسب مطابق جدول (۱-۳) ۳۷
۱-۹-۴- طراحی فنی و برنامه‌ریزی شبکه ۳۷
۱-۹-۵- تامین تجهیزات ۴۳
۱-۹-۶- نصب و راه‌اندازی ۴۴
۱-۹-۷- کنترل نهایی، ارزیابی عملکرد و تحویل ۴۶
۱-۹-۸- نگهداری و بهینه‌سازی دوره‌ای ۵۱
۱-۱۰- معرفی مقررات ۵۴
۱-۱۰-۱- ضوابط و مشخصات سیگنال رادیویی ۵۴
۱-۱۰-۲- استانداردهای بین‌المللی و الزامات فنی ۵۶
۱-۱۰-۳- الزامات فنی و ملاحظات عملی ۶۱
۱-۱۰-۴- الزامات رگولاتوری و قانونی ۶۵

omoorepeyman.ir

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول۱-۱- تفاوت‌های کلیدی سلول‌های کوچک	۱۰
جدول۱-۲- انتخاب منبع سیگنال و فناوری توزیع سیگنال	۲۱
جدول۱-۳- نیازسنجی مطالعه و طراحی IBS	۲۲
جدول۱-۴- درجه اهمیت ساختمان‌ها	۲۳
جدول۱-۵- مقایسه فنی فمتوسل، پیکوسل و میکروسل	۲۸
جدول۱-۶- مقایسه چهار نوع سیستم DAS	۳۳
جدول۱-۷- جمع‌بندی کلیات راه‌کارها	۳۵
جدول۱-۸- مقادیر سطح قدرت سیگنال	۳۶
جدول۱-۹- حداقل مقادیر سطح قدرت سیگنال	۳۷
جدول۱-۱۰- راهنمای اولیه طراحی سیستم بر اساس نوع ساختمان	۳۹
جدول۱-۱۱- ملاحظات پیشنهادی در طراحی ساختمان‌های خاص	۴۱
جدول۱-۱۲- پارامترها و مقادیر توصیه شده در آزمون PIM، روش چند حامل همزمان	۴۹
جدول۱-۱۳- نتایج آزمون در محل‌های مختلف به‌عنوان توصیه	۵۲
جدول۱-۱۴- نمونه‌هایی از آزمون EMC و تداخل با سایر سیستم‌ها	۵۲
جدول۱-۱۵- نمونه گزارش نهایی پوشش و کیفیت خدمات	۵۳

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- نمونه‌ای از پیکربندی سیستم DAS غیرفعال ۱۴

شکل ۱-۲- نمونه پیکربندی سیستم DAS فعال ۱۵

شکل ۱-۳- نمونه پیکربندی تقویتکننده ۱۸

شکل ۱-۴- مراحل اجرای کار ۲۴

شکل ۱-۵- کلیات پیکربندی‌ها در سیستم DAS ۳۳

شکل ۱-۶- دیاگرام پیکربندی MNC ۴۰

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

سیستم ارتباطات تلفن همراه درون‌ساختمانی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱-۱- دامنه پوشش

در این آیین‌نامه، راه‌کارهای ارتباطات رادیویی برای تامین پوشش شبکه‌های تلفن همراه درون‌ساختمانی بررسی می‌شود و راه‌کارهایی برای تامین پوشش رادیویی دوطرفه تلفن همراه، به تفکیک ارسال‌های فراسو و فروسو در داخل ساختمان‌ها، ارایه می‌شود. از آنجا که طراحی رادیویی شبکه‌های تلفن همراه عموما با هدف دست‌یابی به کیفیت مطلوب در معابر و فضاهای باز انجام می‌شود، سطح سیگنال دریافتی در محیط داخلی ساختمان‌ها، سالن‌های محصور میان دیوارهای متراکم، تونل‌ها، طبقات منفی و حتی طبقات بالایی برای تحقق تجربه ارتباطی مناسب، کافی نیست. در چنین مواردی، سیگنال‌رسانی مجدد به این محیط‌ها از طریق ایجاد سلول‌های ارتباطات تلفن همراه درون‌ساختمانی یا تقویت سیگنال رادیویی برون‌ساختمانی و بازپخش آن در داخل ساختمان، امکان‌پذیر است. هدف اصلی این فصل، بیان مفاهیم، تعیین راهکارهای تامین پوشش ارتباطات رادیویی درون‌ساختمانی مبتنی بر پیکربندی‌های متداول جهانی و براساس تعداد و بخش‌بندی کاربران خدمات تلفن همراه، نوع ساختمان، ویژگی‌های ساخت، مساحت، ارتفاع مثبت و منفی، عمق و درجه اهمیت آن است. هم‌چنین این آیین‌نامه اطلاعات، مستندات، معیارها و الزامات استانداردهای مرتبط را ارایه می‌دهد و اقدامات اجرایی متصور برای استقرار سیستم تامین پوشش شبکه‌های رادیویی تلفن همراه درون‌ساختمانی را احصای می‌کند.

۱-۲- تعاریف و اصطلاحات

۱-۲-۱- دستگاه تقویت کننده فعال سیگنال رادیویی شبکه تلفن همراه

mobile network active signal booster

دستگاه رادیویی ثابت مشتمل بریک آنتن برون ساختمانی، واحد افزایش‌دهنده توان، و آنتن درون‌ساختمانی برای نصب در محیط درون‌ساختمانی برای تقویت سیگنال رادیویی است. این دستگاه‌ها تکرارکننده‌های تلفن همراه نیز نامیده می‌شوند.

۱-۲-۲- دستگاه تقویت کننده غیرفعال سیگنال رادیویی شبکه تلفن همراه

mobile network passive signal booster

دستگاه رادیویی ثابت مشتمل بر یک آنتن در بیرون ساختمان، خط انتقال غیرفعال و آنتن درون‌ساختمانی برای نصب در محیط درون‌ساختمانی برای تقویت غیرفعال سیگنال رادیویی شبکه‌های تلفن همراه درون‌ساختمانی است.

۱-۲-۳- ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده

base transceiver station

یک ایستگاه ثابت در سرویس ارتباطات سیار برای برقراری ارتباط رادیویی دوطرفه با ایستگاه متحرک است.

۱-۲-۴- پخش زائد

spurious emission

پخش روی یک یا چند فرکانس، خارج از پهنای باند لازم که سطح آن‌ها ممکن است بدون تاثیر بر انتقال اطلاعات ذیربط کاهش داده شود. این پخش‌ها شامل پخش‌های هارمونیک، پخش‌های پارازیتی، مولفه‌های اینترمدولاسیون و تبدیل فرکانس است اما شامل پخش‌های خارج از باند نمی‌شود.

omoorepeyman.ir

۱-۲-۵- درون‌ساختمانی

indoor

محوطه داخلی یک فضای پیوسته و محدود شده توسط دیوار و سقف است.

۱-۲-۶- برون ساختمانی

outdoor

فضای بیرون از ساختمان است.

۱-۲-۷- عدد نویز

noise figure

نسبت توانی سیگنال به نویز در ورودی تقویت‌کننده به سیگنال به نویز در خروجی آن است.

۱-۲-۸- بهره آنتن

gain of an antenna

نسبت توان مورد نیاز در ورودی آنتن مرجع بدون تلفات، به توان داده شده به ورودی آنتن مورد نظر برای تولید همان شدت میدان یا همان چگالی شار توان، در همان فاصله و در جهت مشخص است. این نسبت معمولا بر حسب «dB یا دسی بل» نشان داده می‌شود. همیشه بهره آنتن در جهت حداکثر تشعشع است، مگر اینکه مورد دیگری ذکر شود. بهره آنتن، ممکن است برای یک پلاریزاسیون معین مدنظر قرار گیرد. بسته به انتخاب آنتن مرجع، موارد زیر متمایز می‌شوند:

الف) بهره مطلق یا بهره همسان‌گرد (Gi[۱])، هنگامی که آنتن مرجع یک آنتن همسان‌گرد مجزا در فضا باشد.

ب) بهره نسبت به دو قطبی نیم موج (Gd[۲]): هنگامی که آنتن مرجع یک دو قطبی نیم موج مجزا در فضا باشد به طوری که صفحه عمود منصف آن، جهت مورد نظر را شامل شود.

پ) بهره نسبت به آنتن کوتاه عمودی (Gv[۳])، هنگامی که آنتن مرجع هادی خطی بسیار کوتاه‌تر از ربع طول موج و عمود بر سطح یک صفحه هادی کامل باشد که جهت مفروض را شامل شود.

۱-۲-۹- توان تشعشعی همسان‌گرد معادل

equivalent isotropic radiated power (e.i.r.p)

حاصل ضرب توان داده شده به آنتن، و بهره آن در جهت مورد نظر نسبت به یک آنتن همسان‌گرد (بهره مطلق یا بهره همسان‌گرد) است.

۱-۲-۱۰- سلول بزرگ

macro cell

سلول رادیویی است که سیگنال‌های شبکه بی‌سیم را در مناطق وسیع از چند صد متر تا چند ده کیلومتر منتشر و دریافت می‌کند.

---

[۱] Isotropic Gain

[۲] Dipole Gain

[۳] Vertical Antenna Gain

omoorepeyman.ir

۱-۲-۱۱- سلول کوچک

small cell

نوعی سلول رادیویی دارای ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده جداگانه و شامل میکروسل[۱]، پیکوسل[۲] یا فمتوسل[۳] است و وظیفه ارسال و دریافت سیگنال رادیویی به یا از تجهیزات کاربر را بر عهده دارد. منطقه جغرافیایی تحت پوشش سلول کوچک که توسط یک ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده فراهم می‌شود از چند ده متر تا چند کیلومتر است که معمولا در مقایسه با ماکروسل، کوچکتر است.

۱-۲-۱۲- سیستم آنتن‌های توزیع‌شده (DAS)

distributed antenna system (DAS)

در سیستم DAS، یک ساختمان به یک یا تعداد بیشتری سلول‌های بزرگ در طبقات و راهروها تقسیم شده است، هر یک از آنها توسط یک سیستم DAS در قالب یک سری سلول کوچک در اتاق‌ها، خدمت دهی می‌شود، به نحوی که مرکزیت سلول‌های کوچک هر اتاق، به راهروها ختم شود.

۱-۲-۱۳- منبع سیگنال

signal source

سیستم DAS، سیگنال را در مسیر رادیویی فروسو به ترمینال‌های کاربران توزیع و در مسیر رادیویی فراسو از ترمینال‌های کاربران اخذ و برای ارسال به سایت شبکه اپراتور، تجمیع می‌کند. در مسیر رادیویی فروسو، سیستم DAS باید سیگنال را از منبعی تغذیه کند. منابع سیگنال، فارغ از فناوری مورد استفاده در منبع اعم از نسل دو (GSM[۴], 2G)، نسل سه (UMTS[۵], 3G)، نسل چهار (LTE[۶], 4G) یا نسل پنج (5G)، معمولا به چهار دسته تقسیم می‌شوند: فضای بیرونی (از طریق یک آنتن روی پشت بام)، BTS[۷] (جدید) در محل، سلول‌های کوچک (جدیدترین رویکرد)، و یا ترکیبی از موارد مذکور.

۱-۲-۱۴- فناوری‌های توزیع سیگنال

signal distribution technologies

صرف نظر از نوع منبع سیگنال، سیستم DAS به‌عنوان یک فناوری توزیع سیگنال، سیگنال را در دو مسیر رادیویی فراسو و فروسو تقویت، توزیع و در داخل ساختمان، بازپخش می‌کند. چهار نوع اصلی فناوری توزیع شامل فعال، غیرفعال، ترکیبی[۸] و دیجیتال[۹] وجود دارد.

---

[۱] Micro cell

[۲] Pico cell

[۳] Femto cell

[۴] سیستم جهانی ارتباطات سیار یا Global System for Mobile Communications

[۵] سیستم جهانی شبکه ارتباطات همراه یا Universal Mobile Telecommunications System

[۶] تکامل بلندمدت یا Long Term Evolution

[۷] یا Base Transceiver Station، در این ضابطه، اصطلاح BTS به‌صورت عام برای اشاره به ایستگاه پایه در تمامی فناوری‌ها به‌کار رفته است.

[۸] Hybrid

[9] Passive DAS, Active DAS, Hybrid DAS and Digital DAS

@bmoorepeyman.ir

۱-۲-۱۵- تکرارکننده

repeater

تکرارکننده یک دستگاه رادیویی ثابت مشتمل بر یک آنتن در بیرون ساختمان، واحد افزایش دهنده توان سیگنال و آنتن درون ساختمانی برای نصب در محیط درون ساختمانی برای تقویت سیگنال رادیویی مورد نظر، بدون تغییر شکل در ساختار و اطلاعات آن است.

۱-۲-۱۶- شبکه مویرگی[1]

backhaul network

در انتقال صدا، ویدئو و ترافیک داده، که به‌عنوان سه نوع متداول محتوا، در ارتباطات داده شناخته می‌شود، برای ارتباط سلول بزرگ BTS یا میکروسل، به شبکه‌ی اصلی یا مرکزی موسوم به Backbone Network، از کابل مسی یا فیبرنوری و یا بی‌سیم (مثلا رادیوهای پرظرفیت مایکروویو) استفاده می‌شود، به‌نحوی که اتصالات فوق، خود شبکه کوچکتری را تشکیل می‌دهد که به آن شبکه مویرگی می‌گویند.

۱-۲-۱۷- بهره‌بردار

مالک ساختمان یا نماینده قانونی آن است.

۱-۲-۱۸- اپراتور

سرویس‌دهنده خدمات تلفن همراه که دارای پروانه یک‌پارچه شبکه و خدمات ارتباطی(**UNSP**) است.

۱-۳- مستندات بالا دستی

مستندات مشروحه ذیل حاوی قوانین و مقررات، استانداردها، مصوبات، بخشنامه‌ها و ابلاغیه‌هایی است که در متن این فصل به آن‌ها ارجاع داده شده و جزئی از این ضابطه محسوب می‌شود. در صورتی که به مستندی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این فصل نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آنها مورد نظر است.

۱-۳-۱- مستندات داخل کشور

- قانون استفاده از بی‌سیم‌های اختصاصی و غیر حرفه‌ای (آماتوری) مصوب ۱۳۴۵/۱۱/۲۵ و آخرین اصلاحیه آیین نامه اجرایی آن مصوب ۱۳۶۱/۱۱/۱۳.

[1] سه نوع شبکه ارتباطی شامل Fronthaul به‌عنوان بخش جلویی شبکه که اتصال واحدهای رادیویی به لایه پردازش را بر عهده دارد، Midhaul به‌عنوان بخش میانی که ارتباط بین لایه دسترسی و لایه تجمیع را برقرار می‌کند، و Backhaul به‌عنوان شبکه مویرگی که وظیفه انتقال ترافیک تجمیع‌شده به هسته شبکه را بر عهده دارد.

omoorepeyman.ir

- مصوبه جلسه شماره ۲۸۳ مورخ ۱۳۹۷/۷/۲۹ کمیسیون تنظیم مقررات ارتباطات با عنوان «پارامترها و شاخص‌های اندازه‌گیری کیفیت و عملکرد شبکه‌های تلفن سیار و ثابت» و اصلاحات بعدی آن که در این ضابطه به آن «مصوبه ۲۸۳» گفته می‌شود.
- تصمیم شماره CRA-DEC 5009-01، سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی با عنوان «مقررات و ضوابط فنی استفاده از تقویت‌کننده‌های درون‌ساختمانی سیگنال رادیویی شبکه تلفن همراه و ضوابط فنی تقویت‌کننده‌های خانگی سیگنال رادیویی پخش همگانی (The Boosters)»، و اصلاحات بعدی آن که در این ضابطه به آن «تصمیم CRA-DEC 5009-01» گفته می‌شود.
- استاندارد ملی ایران به شماره ۸۵۶۷ سازمان ملی استاندارد با عنوان «پرتوهای غیر یونساز - حدود پرتوگیری».
- ابلاغیه‌های سازمان انرژی اتمی ایران، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، اداره کل حفاظت در برابر اشعه (NRPD-AEOI).

۱-۳-۲- مستندات رگولاتوری خارج از کشور

فهرست اهم استانداردها و مستندات خارجی استفاده شده در این ضابطه برای سیستم‌های تلفن همراه درون‌ساختمانی، تقویت کننده و تکرارکننده ارتباطات رادیویی درون‌ساختمانی، عبارت است از:

- ITU-R BS.1698-1
- ETSI EN 300 609-4
- ETSI EN 301 511 V12.5.1
- ETSI EN 301 908
- FCC Part 20 Subpart H
- FCC Part 90
- ANSI/TIA 568

۱-۴- ویژگی‌ها و مقایسه سلول‌ها

۱-۴-۱- سلول بزرگ

سلول بزرگ یا ماکروسل که به‌عنوان برج سلولی (دکل سلولی) نیز شناخته می‌شود، ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده رادیویی است که سیگنال‌های شبکه بی‌سیم را در مناطق وسیع از چند صد متر تا چند ده کیلومتر منتشر و دریافت می‌کند.
ماکروسل معمولا روی دکل[1]، پشت بام، پایه روشنایی معابر، پایه شبکه هوایی فشارضعیف و در برخی موارد بر روی برج‌ها نصب می‌شود. سلول‌های ماکرو هم‌چنین از MIMO انبوه[2] نیز استفاده کرده که امکان انتقال و دریافت حجم بزرگی از داده‌ها را فراهم می‌کند.

[1] Towers
[2] Massive MIMO (Multiple Input, Multiple Output)

omoorepeyman.ir

در مقابل، سلول‌های کوچک در مناطق پرجمعیت مانند مراکز شهر و استادیوم‌ها مورد استفاده قرارگرفته که ظرفیت ارایه خدمات ارتباطی آن مورد توجه است. از نظر ارتفاع سازه، ماکروسل‌ها معمولا بین ۳۰ تا ۱۲۰ متر ارتفاع دارند، در حالی که سلول‌های کوچک در ارتفاع‌های کمتر از ۳۰ و اغلب نزدیک‌تر به ۶ متر قرار می‌گیرد. هم‌چنین سلول‌های کوچک، توان عملیاتی و نرخ داده‌ی بالاتری را برای کاربران نهایی ارایه می‌کند که به نوبه خود، ظرفیت اضافی را برای یک شبکه بیسیم ماکرو فراهم می‌کند.

۱-۴-۲- سلول‌های کوچک

هر نوع سلول کوچک، شامل میکروسل، پیکوسل یا فمتوسل، همگی دارای ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده جداگانه است که وظیفه ارسال و دریافت سیگنال رادیویی به یا از ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده را بر عهده دارد.

۱-۴-۲-۱- میکروسل

منطقه جغرافیایی تحت پوشش میکروسل‌ها که توسط یک ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده فراهم می‌شود از ۱۸۰ متر تا ۹۰۰ متر است که معمولا در مقایسه با ماکروسل، کوچکتر و در مقایسه با پیکوسل و فمتوسل‌ها کمی بزرگتر است. میکروسل می‌تواند تعداد بیشتری از کاربران متصل را پشتیبانی کند و منطقه جغرافیایی بیشتری را پوشش دهد. میکروسل‌ها اغلب برای مراکز اداری یا سازمانی استفاده می‌شود. این تجهیزات به اپراتورهای تلفن همراه این امکان را می‌دهد تا سایت‌های سلولی را در مکان‌های استراتژیک مستقر کند و ظرفیت‌های بالاتری را در منطقه تحت پوشش ارایه دهد.

میکروسل‌ها بیشترین پوشش را ارایه می‌دهد و بالاترین ظرفیت را برای کاربران در میان انواع سلول‌های کوچک پشتیبانی می‌کند. به طور معمول، میکروسل‌ها در فضای باز در زیرساخت‌های شهری مانند پایه‌های روشنایی معابر و پایه‌های شبکه هوایی فشارضعیف نصب می‌شوند. با این حال، با توجه به دامنه پوشش آن‌ها، میکروسل می‌تواند به طور هم‌زمان به فضاهای بیرونی و داخلی خدمات تعریف شده را ارایه دهد.

میکروسل در محیط‌های شهری متراکم، جایی که پوشش ماکروسل (که معمولا دارای شعاع بیشتر و توان بالاتر است) ممکن است کافی نباشد، مستقر می‌شود. یک میکروسل می‌تواند از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ کاربر ثبت شده[۱] و ۱۰۰ تا ۵۰۰ کاربر هم‌زمان را پشتیبانی کند و معمولا دارای سطوح توان انتقال ۲ تا ۲۰ وات است.

برای ارتباط یک میکروسل به شبکه‌ی اصلی، از شبکه ارتباطات مویرگی استفاده می‌کند. این اتصالات می‌تواند کابلی (مثلا فیبر) یا بی‌سیم (مثلا مایکروویو) باشد.

اگرچه میکروسل در میان سلول‌های کوچک، پرهزینه‌ترین گزینه برای استقرار است و پس از نصب، نیاز به تایید اپراتور ارایه‌کننده خدمات تلفن همراه دارد، اما مزایای منحصر به فردی مانند توانایی استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزاری برای غلبه بر دید مستقیم محدود[۲] در محیط‌های شهری چالش برانگیز را داشته و یکی از اجزای حیاتی در توسعه شبکه‌های نسل پنجم محسوب می‌شود.

omoorepeyman.ir

[۱] سیم‌کارت فعال روی شبکه

[۲] Limmited Line of Sight

۱-۴-۲-۲- پیکوسل

پیکوسل ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده سلولی کوچکی است که مناطقی مانند ساختمان‌ها، هتل‌ها، بیمارستان‌ها، مراکز خرید، ادارات و دانشگاه‌ها را پوشش می‌دهد و به طور کلی برای گسترش پوشش و افزایش ظرفیت استفاده می‌شود.
پیکوسل‌ها که می‌توان آن‌ها را متروسل نیز نامید، در فضای باز، محدوده پوششی بین ۹۰ تا ۳۰۰ متر ارایه می‌کند که کوچک‌تر از میکروسل اما بزرگ‌تر از فمتوسل‌ها است.
هر پیکوسل می‌تواند ۳۰ تا ۲۰۰ کاربر ثبت شده و ۱۶ تا ۶۴ کاربر هم‌زمان را پشتیبانی کند و دارای سطوح توان انتقال متوسط ۲۵۰ میلی‌وات تا ۲ وات است. اگرچه پیکوسل متعلق به بهره‌بردار یا مالک محل استقرار آن است، اما برای انتقال صدا، ویدئو و ترافیک داده، از طریق پیکوسل، باید از یک اتصال مطمئن مانند فیبرنوری یا شبکه مسی در بخش شبکه مویرگی، استفاده شود.
به طور کلی، استقرار پیکوسل‌ها نسبت به میکروسل‌ها هزینه کمتری دارد، زیرا اندازه تجهیزات آن‌ها کوچک‌تر است و پس از پیکربندی نسبت به میکروسل، هزینه استقرار پایین‌تری دارد.

۱-۴-۲-۳- فمتوسل

فمتوسل ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده سلولی بسیار کوچکی است که برای بهبود پوشش در مجتمع‌های مسکونی یا اداری کوچک استفاده می‌شود. فمتوسل در مناطقی با پوشش داخلی ضعیف استفاده می‌شود و با کاهش بار ترافیکی[1] یک سلول ماکرو به بهبود کیفیت سرویس کمک می‌کند.
فمتوسل، کوتاه‌ترین محدوده پوشش را فراهم می‌کند و کم‌ترین ظرفیت را برای کاربران در میان انواع سلول‌های کوچک پشتیبانی می‌کند. به طور خاص، فمتوسل تجهیزات فشرده‌ای است که در داخل خانه برای مصارف خانگی و اداری کوچک نصب می‌شود و محدوده پوششی کمتر از ۳۰ متر را فراهم می‌کند. در مجموع، یک فمتوسل منفرد می‌تواند حداکثر ۱۶ کاربر همزمان و یا ۳۲ کاربر ثبت شده را پشتیبانی کند. توان خروجی فمتوسل پایین‌تر از سایر انواع سلول کوچک بوده و معمولا حداکثر تا حدود ۲۰۰ میلی‌وات تنظیم می‌شود. در نهایت، هدف اصلی یک فمتوسل بهبود پوشش داخلی و افزایش کیفیت لینک رادیویی است.
فمتوسل‌ها به‌وسیله اتصال کابلی از خط مشترک (کاربر) با پهنای باند بالا به شبکه اصلی[2] اپراتور متصل می‌شوند. این اتصال می‌تواند از طریق شبکه‌های دسترسی مبتنی بر کابل مسی (مانند DSL[3] یا HFC[4]) یا از طریق فیبرنوری انجام شود.
به طور کلی، از میان انواع مختلف سلول‌های کوچک، فمتوسل ارزان‌ترین گزینه برای استقرار بوده که به‌صورت خودکار تنظیم می‌شود و دارای ضریب شکل[5] کوچکی است. معمولا هر یک از اپراتورها، فمتوسل‌های خود را به منظور افزایش پوشش 4G LTE و نسل‌های قبلی جهت استفاده در خانه یا محل کار، به مشترک ارایه می‌دهند.
در جدول (۱-۱) تفاوت‌های اصلی بین سلول‌های کوچک مشتمل بر میکروسل، پیکوسل و فمتوسل مقایسه شده است که شامل مکان استقرار، محدودهٔ پوشش، تعداد کاربران و توان فرستنده است.

---

[1] Off-Loading
[2] Backbone
[3] Digital Subscriber Line
[4] فیبرنوری و کابل هم‌محور (یا کواکسیال) ترکیبی Hybrid Fiber-Coaxial
[5] یا Form Factor؛ نسبت مساحت به حجم یک جسم، که متأثر از شکل یک جسم بوده ولی مستقل از ابعاد آن است.

omoorepeyman.ir

جدول۱-۱- تفاوت‌های کلیدی سلول‌های کوچک

مشخصه / نوع سلول	محل استقرار	محدودهٔ پوشش (متر)	تعداد کاربران ثبت شده	تعداد کاربران همزمان	توان فرستنده
میکروسل	برون و درون‌ساختمانی	۱۸۰ تا ۹۰۰	۵۰۰ تا ۱۰۰۰	۱۰۰ تا ۵۰۰	۲ تا ۲۰ وات
پیکوسل	درون‌ساختمانی	۹۰ تا ۳۰۰	۳۰ تا ۲۰۰	۱۶ تا ۶۴	۲۵۰ میلی‌وات تا ۲ وات
فمتوسل	درون‌ساختمانی	کمتر از ۳۰	کمتر از ۳۲	کمتر از ۱۶	کمتر از ۲۰۰ میلی‌وات

۱-۵- سیستم آنتن‌های توزیع‌شده (DAS)

سیستم DAS و سلول‌های ماکرو، میکرو، فمتو و پیکو، مکمل یک‌دیگر در استقرار شبکه رادیویی برای استفادهٔ کاربران اداری، سازمانی و سایر کسب و کارها هستند. این سیستم شبکه‌ای از آنتن‌ها است که به یک منبع RF[1] مشترک متصل شده و سیگنال را در محل مشترک توزیع می‌کند. از سیستم DAS معمولا در مکان‌هایی با چالش‌های خاص مانند ساختمان‌های بلند، زیرزمین‌ها، مراکز خرید بزرگ، استادیوم‌های ورزشی بزرگ یا رویدادهایی که در آن تراکم شبکه‌های سلولی زیاد است، استفاده می‌شود و از دو جزء منبع سیگنال و فناوری توزیع سیگنال، تشکیل شده که به عنوان یکی از راه‌کارهای درون‌ساختمانی موسوم به IBS [2] شناخته می‌شود.

IBS به مجموعه‌ای از سامانه‌ها و فناوری‌های ارتباطی اطلاق می‌شود که با هدف تامین پوشش رادیویی پایدار، ظرفیت کافی و کیفیت مناسب خدمات تلفن همراه و داده در فضاهای درون‌ساختمانی طراحی و اجرا می‌شود. در محیط‌های بسته مانند مجتمع‌های تجاری، فرودگاه‌ها، بیمارستان‌ها، برج‌های بلندمرتبه و پارکینگ‌های زیرزمینی، تضعیف قابل توجه سیگنال شبکه‌های سلولی موجب افت کیفیت تماس و کاهش نرخ انتقال داده می‌شود. به همین دلیل، در مکان‌های ذکر شده، باید راه‌کارهای IBS برای ایجاد دسترسی بی‌وقفه و بهبود تجربه کاربر استقرار یابد.

راه‌کارهای IBS از نظر معماری و فناوری به چند گروه اصلی تقسیم می‌شوند. ساده‌ترین شکل آن تقویت‌کننده است که با تقویت مستقیم سیگنال فروسو و فراسو، پوشش محدودی را در داخل ساختمان فراهم می‌سازد. در سطوح پیشرفته‌تر، پیکوسل و فمتوسل به عنوان سلول‌های کوچک عمل کرده و از طریق شبکه‌های اینترنت (کابل مسی یا فیبرنوری) به هسته شبکه اپراتور متصل می‌شود. این نوع سلول‌ها علاوه بر بهبود پوشش، امکان مدیریت ظرفیت ترافیکی و تخصیص منابع رادیویی را نیز فراهم می‌کنند. در مقیاس‌های بزرگ‌تر، سیستم DAS به عنوان زیرساخت اصلی IBS شناخته می‌شود که با تجمیع و توزیع سیگنال اپراتورها از طریق کابل هم‌محور (کواکسیال)، فیبرنوری یا ماژول‌های فعال، امکان ارایه سرویس هم‌زمان به چند اپراتور و چند باند فرکانسی را فراهم می‌سازد.

به طور کلی، IBS یک راه‌کار جامع برای طراحی و پیاده‌سازی شبکه‌های رادیویی درون‌ساختمانی است که انتخاب راه‌کار مناسب بر اساس نوع ساختمان، تراکم کاربران، و الزامات رگولاتوری را شامل می‌شود. در طراحی این سامانه‌ها باید علاوه بر توان و کیفیت سیگنال، شاخص‌هایی مانند تداخل بین باندی، تاخیر، و الزامات ایمنی پرتو نیز در نظر گرفته شود. بنابراین سیستم DAS تنها یکی از اجزای کلیدی IBS به شمار می‌رود و تحقق کامل اهداف ارتباطی در ساختمان‌ها منوط به انتخاب ترکیبی از این فناوری‌ها و یکپارچه‌سازی آن‌ها در قالب طرح IBS است.

---

[1] منبع سیگنال رادیویی یا Radio Frequency Source؛ که شامل تولید و توزیع امواج بی‌سیم در شبکه‌های موبایل می‌شود.

[2] In Building Solutions

omoorepeyman.ir

IBS، با اتصال به شبکه ارتباطی اپراتور، سیگنال‌های رادیویی تلفن همراه برون ساختمانی را دریافت کرده و با هدف تامین پوشش رادیویی، در فضای درون‌ساختمانی پخش می‌کند، این سیستم کیفیت سیگنال‌های بی‌سیم را ارتقا داده، و ارتباطی پایدار و با کیفیت را برای انواع دستگاه‌های همراه مانند گوشی‌های تلفن همراه، لپ‌تاپ‌ها، و دستگاه‌های دستیار دیجیتال شخصی[۱]، برقرار می‌کند. کاربرد این راه‌کار در شرایطی است که امواج رادیویی شبکه‌های تلفن همراه در فضای برون ساختمانی، برای نفوذ به داخل ساختمان با مشکل مواجه می‌شوند.

سیستم DAS نیز به‌عنوان راه‌کار عملیاتی برای تامین اهداف IBS عمل می‌کند. این سیستم سیگنال‌های سلولی را روی فرکانس‌های مجاز یک یا چند اپراتور تلفن همراه، در مسیر رادیویی فراسو از تجهیزات تلفن همراه کاربران درون‌ساختمانی دریافت، تجمیع و به فضای آزاد برون ساختمانی ارسال می‌کند، و هم‌زمان، سیگنال‌های سلولی را در مسیر رادیویی فروسو، از فضای آزاد برون ساختمانی دریافت و آن را روی تجهیزات تلفن همراه کاربران درون ساختمان، توزیع می‌کند. در نتیجه نه تنها پوشش و ظرفیت را بهبود بخشیده، بلکه کیفیت ارتباطات صوتی و داده‌ای را برای کاربران نهایی ارتقا می‌دهد.

با توجه به ارتباط تشریح شده بین راه‌کارهای IBS و سیستم‌های DAS، در برخی از منابع ترکیب IBS-DAS نیز به کار برده شده است. در ساده‌ترین شکل، یک سیستم DAS دارای دو جزء اساسی است که در ادامه به آن‌ها پرداخته شده است.

۱-۵-۱- منبع سیگنال

سیستم DAS، فقط سیگنال را توزیع یا تجمیع می‌کند، اما به طور کلی برای سلول خود سیگنال تولید نمی‌کند. در مسیر رادیویی فروسو، سیگنال دریافتی از منبع تغذیه را به مشترکین توزیع می‌کند، در حالی که در مسیر رادیویی فراسو، سیگنال را از مشترکین به منبع منتقل می‌کند.

برای یک سیستم DAS، منبع سیگنال به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده در حداکثر وسعت منطقه پوشش و حداکثر ظرفیت قابل تامین، به شمار می‌آید، به نحوی که عملکرد پایین سیگنال تامین‌کننده، می‌تواند سیستم توزیع را تحت الشعاع قرار داده و عملکرد آن را محدود کند. هم‌چنین، این منبع سیگنال است که تعیین می‌کند سیستم توزیع، چه نوع سیگنالی را باید توزیع کند. به‌عنوان مثال، وجود منبع سیگنال 5G برای ایجاد یک سیستم 5G DAS، الزامی است.

۱-۵-۱-۱- فضای بیرونی[۲]

در صورتی که سیستم DAS نیازمند استفاده از سیگنال فضای بیرون باشد، باید از یک آنتن اهداکننده[۳] استفاده شود. این آنتن در محیط آزاد و معمولا روی پشت‌بام نصب می‌شود و نقش رابط میان شبکه اپراتور سلولار و DAS را ایفا می‌کند. یه این معنی که سیگنال فروسو شبکه را دریافت کرده و سیگنال فراسو گوشی‌ها را به شبکه ارسال می‌کند.

سیگنال‌های فضای بیرونی، رایج‌ترین منابع سیگنال برای یک سیستم از نوع DAS، برای فضاهای درون‌ساختمانی کوچک و ظرفیت پایین است. نکته دیگر حائز اهمیت این است که اگر سیگنال آنتن اهداکننده خیلی ضعیف باشد یا کانال‌های ترافیکی نزدیک‌ترین دکل شبکه رادیویی در وضعیت اشباع ترافیکی[۴] باشد، استفاده از سیگنال فضای بیرونی معمولا امکان پذیر نیست. اما اگر سیگنال آنتن اهداکننده از سطح توان و کیفیت مناسب برخوردار باشد، سیگنال فضای بیرونی اغلب ساده‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین منبع سیگنال است.

---

[۱] PDA: Personal Digital Assistant

[۲] Off-Air

[۳] Donor antenna

[4] Full-Load

omoorepeyman.ir

سیستم DAS که از منبع سیگنال فضای بیرونی استفاده می‌کند، هیچ ظرفیت اضافی به شبکه اپراتور تلفن همراه نمی‌دهد و در درجه اول برای گسترش پوشش در لبه‌های شبکه استفاده می‌شود.
سیستم DAS دارای مزایای قابل توجهی مانند زمان استقرار سریع (با حداقل نیاز به مشارکت اپراتور)، هزینه پیاده‌سازی پایین، و توانایی کارکرد با چندین اپراتور است. با این حال، این سیستم با چالش‌های فنی مهمی نیز روبروست که از جمله می‌توان به وابستگی عملکرد سیستم به کیفیت سیگنال دریافتی و هم‌چنین سطح ازدحام در شبکه ماکرو، وابستگی تغییرات عملکرد سیستم به تغییر سیگنال دریافتی، عدم افزایش ظرفیت شبکه و متکی بودن به شبکه ماکرو سلولی و دشواری بهینه‌سازی سیگنال‌ها برای چندین اپراتور تلفن همراه را نام برد.

۱-۵-۱-۲- سلول‌های بزرگ BTS

استفاده از نماد BTS برای نشان دادن ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده شبکه تلفن همراه 2G مرسوم است، که به فناوری استفاده شده در دکل‌های شبکه رادیویی برای تولید سیگنال سلولی اشاره دارد. به همین ترتیب نماد NodeB برای نشان دادن 3G، eNodeB برای 4G و gNodeB برای 5G به کار برده می‌شود. در این ضابطه برای اجتناب از استفاده از نمادهای متعدد، برای اشاره به منبع سیگنال در تمامی فناوری‌ها از اصطلاح «سلول‌های بزرگ BTS»، استفاده شده است.
سیستم DAS در یک استادیوم یا فرودگاه بزرگ ممکن است به چندین ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده متعلق به اپراتورهای تلفن همراه مختلف متصل شود تا بتواند بار ترافیکی سنگین ناشی از ده‌ها هزار کاربر را که به‌صورت هم‌زمان از خدمات صوتی، ارسال پیامک و انتقال داده استفاده می‌کنند، مدیریت کند.
این سیستم که از منابع سیگنال BTSها استفاده می‌کند معمولا به زمان بیشتری برای پیاده‌سازی و استقرار کامل نیاز دارد و گران قیمت‌تر است.
از مهم‌ترین نقاط قوت این سیستم می‌توان به عملکرد بالا، و امکان پیاده سازی دقیق متناسب با ظرفیت مورد نیاز هر محل، اشاره کرد. در مقابل محدودیت‌های آن شامل بالاترین هزینه در مقایسه با گزینه‌های دیگر، زمان استقرار طولانی، نیاز به برنامه‌ریزی دقیق برای پوشش نقاط کور به ویژه در محل‌های ورود و خروج کاربران از ساختمان، هزینه‌های بالای OPEX، و نیاز به فضای فیزیکی و سیستم‌های خنک‌کننده پیشرفته است.

۱-۵-۱-۳- سلول‌های کوچک

سلول‌های کوچک جدیدترین فناوری مورد استفاده اپراتورهای ارتباطی برای ارایه خدمات ارتباطی در محیط‌های داخلی ساختمان‌ها هستند. انواع مختلفی از سلول‌های کوچک وجود دارد اما همه این سلول‌ها از نظر ساختاری یک فناوری هستند. این سلول‌ها از طریق یک اتصال اینترنتی معمولی، یک تونل امن به شبکه اپراتور ایجاد کرده و یک سیگنال بی‌سیم با کیفیت بالا تولید می‌کنند.
محدوده پوشش معمولی یک سلول کوچک تنها حدود ۹۰ تا ۳۰۰ متر مربع است و هزینه راه‌اندازی آن نسبتا بالا است. در حالی که پوشاندن مکان‌های بزرگ‌تر با ده‌ها سلول کوچک مقرون به صرفه نیست، می‌توان محدوده پوشش یک سلول کوچک را تا حد زیادی با استفاده از آن‌ها به‌عنوان منبع سیگنال برای یک سیستم DAS افزایش داد. یکی از محدودیت‌های فناوری سلول‌های کوچک این است که برای وصل شدن به یک اتصال اینترنتی، به شبکه مویرگی به‌عنوان یک پشتیبان قابل اعتماد نیاز دارد. هر سلول کوچک سازمانی معمولا حدود ۱۰۰ کاربر را پشتیبانی می‌کند.

omoorepeyman.ir

از مهم‌ترین مزایای این سیستم می‌توان به چهار ویژگی تولید سیگنال با کیفیت بالا، هزینه نسبتا کمتر در مقایسه با سیستم‌های مبتنی بر BTS، سرعت استقرار بالا، و مناسب بودن برای ساختمان‌هایی با صدها کاربر اشاره کرد. در مقابل، محدودیت‌های آن شامل دشواری در مقیاس بندی برای ارایه پوشش برای هزاران کاربر، متکی به اتصال اینترنتی ارایه شده در همان محل استقرار سیستم DAS، نیاز به برنامه‌ریزی دقیق برای فرآیند دست گردانی[1] و تغییر کانال بین سلول‌های کوچک و شبکه ماکرو، و عدم دسترسی همه اپراتورهای تلفن همراه سلولار، به سلول‌های کوچک سازمانی می‌شود.

۱-۵-۱-۴- ترکیب و مطابقت[2]

بسته به نوع راه‌اندازی سیستم DAS، می‌توان منابع سیگنال مختلف فهرست شده در بالا را در یک مکان واحد، ترکیب و مطابقت داد. برای مثال، می‌توان از یک منبع سیگنال سلولی کوچک برای یک اپراتور تلفن همراه استفاده کرد و بقیه اپراتورهای تلفن همراه را از یک آنتن اهداکننده‌ی فضای بیرونی، دریافت کرد.

۱-۵-۲- عملکرد سیستم DAS

عملکرد سیستم آنتن‌های توزیع‌شده، به نوع فناوری مورد استفاده آن بستگی دارد. برای درک عملکرد این سیستم‌ها ابتدا باید با دو معیار اصلی شامل میزان پوشش رادیویی و ظرفیت قابل ارایه توسط فناوری، آشنا شویم.
در برخی از مکان‌ها مصرف داده‌ی سلولی به طور قابل توجهی بالاتر از میانگین است. به عنوان مثال، یک استادیوم ورزشی را تصور کنید. اگر پوشش رادیویی تنها، به دکل سلولی مجاور متکی باشد، دکل و شبکه محلی به سرعت ناپایدار می‌شود. در این شرایط، استفاده از سیستم DAS با قابلیت افزایش ظرفیت، که معمولا از طریق اتصال به منابع رادیویی اختصاصی اپراتور یا استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته میسر می‌شود، به عنوان راه‌کاری ضروری مطرح است.
از سوی دیگر، اگر به دلیل دور بودن بیش از حد از دکل سلولی یا ضریب تضعیف بالای برخی از مصالح ساختمانی، سیگنال قابل استفاده به کاربران نرسد، نیاز اولیه، بهبود پوشش رادیویی است.
هم‌چنین در نقاط مرتفع نیز گاهی از سیستم DAS استفاده می‌شود زیرا سطوح نویز فرکانس رادیویی در ارتفاعات بالاتر، می‌تواند سیگنال را غیرقابل استفاده کند.
شناسایی این نیازها، اولین قدم برای انتخاب راه‌کار مناسب است و انتخاب فناوری مناسب به معنای ایجاد تعادل بین پوشش رادیویی، ظرفیت و هزینه اجرایی است.

۱-۵-۳- فناوری‌های توزیع سیگنال

چهار نوع اصلی فناوری توزیع سیگنال وجود دارد. غیرفعال (با استفاده از کابل هم‌محور)، فعال (با استفاده از فیبرنوری یا کابل اترنت مسی)، ، ترکیبی و دیجیتال.

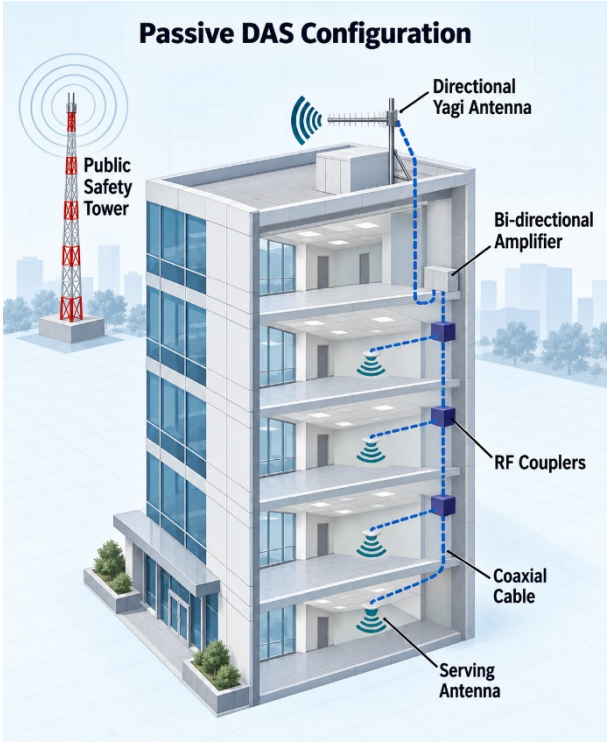
omoorepeyman.ir

[1] Hand-Off
[2] Mix and Match

۱-۵-۳-۱- سیستم DAS غیرفعال

سیستم DAS غیرفعال، از مؤلفه‌های RF غیرفعال مانند کابل هم‌محور، تقسیم کننده‌ها[۱]، انشعاب‌گیرها و تزویج کننده‌ها[۲] برای توزیع سیگنال درون‌ساختمانی استفاده می‌کند. هر چه آنتن از منبع سیگنال و هر یک از تقویت‌کننده‌ها دورتر باشد، تضعیف (تلفات) بیشتری در توان پخش شده از آن آنتن وجود خواهد داشت.

طراحی صحیح یک سیستم DAS غیرفعال مستلزم محاسبه دقیق «بودجه پیوند[۳]» است تا اطمینان حاصل شود که توان خروجی در هر آنتن، یکسان و در حد مطلوب است. شکل (۱-۱) یک نمونه پیکربندی آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- نمونه‌ای از پیکربندی سیستم DAS غیرفعال

سیستم DAS غیرفعال با دارا بودن مزایای قابل توجهی نظیر هزینه پایین پیاده‌سازی (به دلیل حذف مبدل آنالوگ به دیجیتال)، سادگی در تعمیر و نگه‌داری و عدم نیاز به تجهیزات اضافی برای پشتیبانی از چندین اپراتور تلفن همراه، به‌عنوان گزینه‌ای اقتصادی و کاربردی در بسیاری از راه‌کارها، مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، این سیستم با محدودیت‌هایی از قبیل تضعیف بیش از حد سیگنال در مسیرهای طولانی، هزینه بالای کابل هم‌محور با روکش مقاوم در برابر آتش و دود کم[۴] (در صورت نیاز) و نیاز به محاسبات دقیق بودجه پیوند برای اطمینان از عملکرد بهینه، همراه است.

استقرار سیستم DAS غیرفعال، معمولا ساده‌تر از انواع دیگر سیستم‌های آنتن توزیع‌شده است. با این حال، برای ساختمان‌های با اندازه متوسط و بزرگ‌تر، سیستم‌های DAS فعال یا ترکیبی توصیه می‌شود.

---

[۱] Splitters

[۲] Taps and Couplers

[3] Link Budget

[۴] یا Plenum Rated؛ مورد استفاده در فضای گردش یا بازگشت هوا در ساختمان.

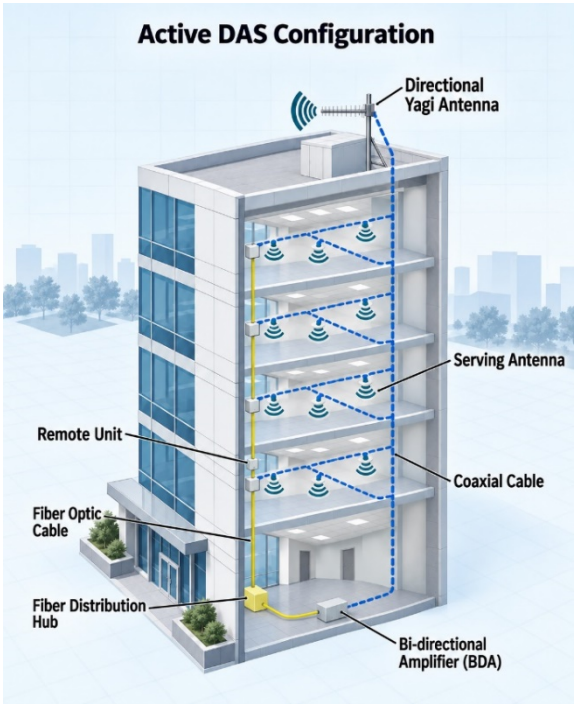
omoorepeyman.ir

۱-۵-۳-۲- سیستم DAS فعال

سیستم DAS فعال، برای انتقال فرکانس رادیویی از طریق کابل فیبرنوری یا اترنت، سیگنال را از منبع دریافت کرده و پس از تبدیل، امکان توزیع آن را فراهم می‌کند. یک واحد اصلی[1] سیگنال‌های چند اپراتور تلفن همراه را ترکیب کرده و این تبدیل را انجام می‌دهد. برخی از سیستم‌های DAS فعال نیز سیگنال را دیجیتالی می‌کنند که اگرچه هزینه را افزایش می‌دهد اما عملکرد کلی سیستم را بهبود می‌بخشد.

پس از تبدیل، سیستم DAS فعال، سیگنال را به‌صورت دیجیتال از طریق فیبرنوری (موسوم به Fiber DAS) یا کابل‌های اترنت به واحدهای رادیویی دور از مرکز یا RRU[2] منتقل می‌کند. هر RRU سیگنال دیجیتال دریافتی را مجددا به سیگنال رادیویی RF تبدیل کرده و آن را در محیط پخش می‌کند. بسته به طراحی سازنده و معماری سیستم، RRU گاهی گره[3] یا آنتن فعال نامیده شود.

بر خلاف سیستم DAS غیرفعال، پیاده‌سازی و استقرار سیستم DAS فعال، نیاز به کابل هم‌محور برای توزیع سیگنال را به حداقل می‌رساند و در برخی موارد حتی از کابل هم‌محور استفاده نمی‌شود. این سیستم‌ها معمولا تحت عناوینی مانند فیبر تا آنتن (FTTA)[4] یا فیبر تا گره رادیویی (FTTN)[5]، شناخته می‌شوند. شکل (۱-۲)، نمونه‌ای از پیکربندی یک سیستم DAS فعال را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲- نمونه پیکربندی سیستم DAS فعال

omoorepeyman.ir

[1] Master Unit
[2] Remote Radio Unit
[3] Node
[4] Fiber to the Antenna
[5] Fiber to the Node (Radio)

سیستم DAS فعال دارای مزایای قابل توجهی از جمله قابلیت اشتراک‌گذاری اترنت (هم به‌صورت مسی و هم نوری) همراه با وای‌فای، سهولت گسترش پوشش و عدم محدودیت در طول کابل است. با این حال، این سیستم در مقایسه با انواع سیستم DAS غیرفعال یا ترکیبی هزینه بالاتری دارد که عمدتا ناشی از قیمت زیاد RRU و نیاز به تامین برق اختصاصی برای این واحدها است.

۱-۵-۳-۳- سیستم DAS ترکیبی

سیستم DAS ترکیبی مزایای سیستم‌های غیرفعال و فعال را در یک معماری یکپارچه ترکیب می‌کند. در این سیستم، RRU به‌صورت مجزا از آنتن‌ها قرار گرفته که این معماری امکان استفاده هم‌زمان از کابل‌های فیبرنوری و هم‌محور را برای توزیع سیگنال فراهم می‌کند. یکی از مهم‌ترین مزایای این پیکربندی، نیاز به تعداد کمتر RRU است که منجر به کاهش هزینه‌های تهیه و نصب در مقایسه با سیستم DAS فعال می‌شود. در یک پیاده‌سازی سیستم DAS ترکیبی معمول، هر طبقه از ساختمان به یک RRU مجهز می‌شود که سیگنال دیجیتال را به آنالوگ تبدیل کرده و از طریق کابل کواکسیال به آنتن‌های همان طبقه ارسال می‌کند.

لازم به ذکر است، سیستم‌های غیرفعال همیشه گزینه ارزان‌تری نیستند و در برخی موارد خاص، راه‌کارهای فعال حتی می‌توانند اقتصادی‌تر از سیستم‌های مبتنی بر کابل‌های مسی باشد که این موضوع کاملا به شرایط فیزیکی ساختمان و الزامات بهره‌بردار، بستگی دارد. بنابراین از جمله مزایای کلیدی سیستم DAS ترکیبی می‌توان به هزینه کمتر نسبت به سیستم‌های DAS فعال و عدم محدودیت در طول کابل‌کشی در شبکه اصلی دیجیتال [1] اشاره کرد. با این حال، این سیستم معایبی از قبیل هزینه بالاتر نسبت به سیستم DAS غیرفعال، نیاز به اختصاص بودجه جداگانه برای هر طبقه، و پیچیدگی نصب به دلیل استفاده هم‌زمان از کابل‌های فیبر نوری و کواکسیال را دارد.

۱-۵-۳-۴- سیستم DAS دیجیتال

سیستم DAS دیجیتال، سیگنال مربوط به هر یک از اپراتورهای تلفن همراه را قبل از ترکیب آن‌ها و انتقال از طریق فیبرنوری یا کابل مسی به داده‌های دیجیتال تبدیل می‌کند. اگر چه هزینه‌های محاسباتی این تبدیل در حال حاضر منجر به قیمت بالاتر این سیستم‌ها نسبت به نمونه‌های آنالوگ شده است، اما پیشرفت فناوری دیجیتال به تدریج این هزینه‌ها را کاهش خواهد داد. از سوی دیگر، افزایش جهانی قیمت مواد معدنی و فلزات نظیر سیم مسی به دلیل رشد تقاضا و کاهش منابع، هزینه سیستم‌های آنالوگ را افزایش می‌دهد.

یکی از مهم‌ترین مزایای سیستم DAS دیجیتال این است که کمتر مستعد تداخل است و در نتیجه کارایی بیشتری دارد. هم‌چنین این سیستم با قابلیت توزیع هوشمند ظرفیت در نقاط مختلف، به ویژه در فضاهای با تراکم متغیر مانند کافه تریا یا فضای رویدادهای بزرگ در یک دانشگاه یا فضای اداری بسیار ارزشمند است.

چنانچه هم منبع سیگنال و هم پلتفرم سیستم DAS دیجیتال از مشخصات واسط رادیوی عمومی مشترک یا CPRIتیبانی کنند، امکان اتصال مستقیم واحد باند پایه‌ی منبع سیگنال یا BBU [2] با واحد اصلی سیستم DAS از طریق واحدهای RRU بدون نیاز به تبدیل سیگنال RF آنالوگ، فراهم می‌شود که مزیت قابل توجهی محسوب می‌شود. با این حال، چالش‌های

[1] Digital Backbone
[2] Baseband Unit

omoorepeyman.ir

مهمی مانند هزینه بالای اولیه، نیاز به زیرساخت‌های پیشرفته و ضرورت تخصص فنی بیشتر برای نصب و راه‌اندازی، استفاده از این سیستم‌ها را در بسیاری از ساختمان‌های معمولی با محدودیت بودجه، کمتر توجیه‌پذیر می‌کند.

۱-۵-۴- پیکربندی‌های رایج

با سه منبع سیگنال مختلف و چهار فناوری توزیع مختلف، در مجموع دوازده پیکربندی سیستم DAS ممکن وجود دارد. اما در عمل تعداد آن‌ها کمتر و مطابق با بند ۱-۷-۳ این ضابطه است.

۱-۵-۴-۱- سیستم DAS غیرفعال، با منبع سیگنال فضای بیرونی

این نوع سیستم DAS نسبت به انواع دیگر، هزینه کمتری دارد و کوتاه‌ترین زمان استقرار را ارایه می‌دهد. این امر به ویژه زمانی صادق است که پوشش چندین اپراتور تلفن همراه، ضروری باشد. در واقع به کارگیری تقویت‌کننده‌های استاندارد مورد تایید اپراتورها می‌تواند به‌عنوان ساده‌ترین شکل پیکربندی مذکور تلقی شود.
بدیهی است در این فناوری به سیگنال قابل استفاده در فضای بیرونی و تایید اپراتور یا اپراتورهای تلفن همراه فعال در آن منطقه، نیاز است.

۱-۵-۴-۲- سیستم DAS غیرفعال، با منبع سیگنال سلول کوچک

اگر کیفیت سیگنال اهداکننده، ضعیف باشد یا کانال‌های ترافیکی دکل‌های سلولی مجاور، به حد اشباع رسیده باشد، در بیشتر موارد استفاده از یک سلول کوچک به همراه یک سیستم DAS غیرفعال، گزینه مناسبی است.

۱-۵-۴-۳- سیستم DAS غیرفعال، با منبع سیگنال سلول بزرگ (BTS)

این گزینه نیاز به نصب یک سلول بزرگ جدید و با انجام پیکربندی و یکپارچه سازی توسط یک یا چند اپراتور تلفن همراه جهت اتصال به سیستم DAS ساخته شده دارد.
در شرایطی که تعداد مشترکین بسیار زیاد باشد و بار ترافیکی سنگین روی شبکه باشد، که بررسی اولیه آن توسط مقادیر تعیین شده در جدول (۱-۳) این ضابطه تعیین شده است، چنانچه پیکربندی سیستم DAS غیرفعال با منبع سیگنال سلول کوچک، پاسخگو نباشد باید از منبع سیگنال سلول بزرگ BTS استفاده شود.

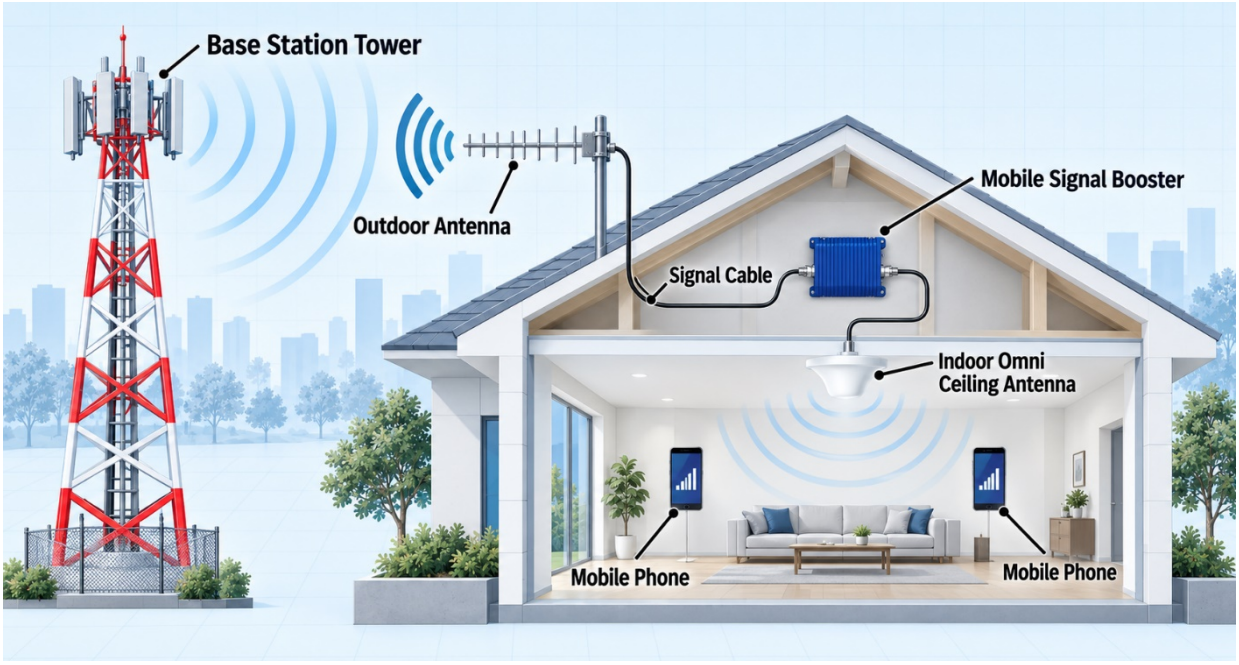
۱-۵-۴-۴- سیستم DAS فعال/ترکیبی/دیجیتال، با منبع سیگنال سلول بزرگ (BTS)

در شرایط تعداد مشترکین و بار ترافیکی بسیار زیاد و گستردگی فضایی بالا، استفاده از DAS غیرفعال با کابل هم‌محور به‌تنهایی کافی نیست و باید در بخش توزیع از DAS فعال با کابل شبکه و مبدل‌های مربوط به آن، یا DAS ترکیبی با کابل هم‌محور برای نقاط نزدیک و کابل شبکه برای نقاط دور، و یا DAS دیجیتال با فیبرنوری و مبدل‌های فعال استفاده شود. در مواردی که پوشش مورد نیاز گسترده یا فضا پیچیده باشد، بررسی اولیه آن بر اساس مقادیر جدول (۱-۳) این ضابطه انجام شده و در صورت تایید، این پیکربندی توصیه می‌شود.

omoorepeyman.ir

۱-۶- تقویت کننده

از آنجا که عموما طراحی رادیویی شبکه‌های تلفن همراه با هدف دست‌یابی به کیفیت مطلوب در معابر و فضاهای باز انجام می‌شود، سطح سیگنال دریافتی در محیط داخلی ساختمان‌ها، داخل سالن‌های محصور میان دیوارهای متراکم، تونل‌ها، طبقات منفی و حتی طبقات فوقانی برای داشتن تجربه یک ارتباط مناسب ممکن است کافی نباشد. در چنین مواردی سیگنال رسانی مجدد به این محیط‌ها با ایجاد سلول‌های ارتباطی درون‌ساختمانی، یا تقویت سیگنال رادیویی برون ساختمانی و بازپخش آن در داخل ساختمان، لازم می‌شود. در شکل (۱-۳)، یک نمونه پیکربندی تقویت‌کننده نشان داده شده است.



شکل ۱-۳- نمونه پیکربندی تقویت‌کننده

در صورت عدم هماهنگی فنی پوشش‌های درون‌ساختمانی ایجاد شده به شیوه فوق با پوشش موجود در بیرون از ساختمان‌ها، امکان ایجاد تداخل درون سلولی در شبکه‌های تلفن همراه وجود داشته و باعث افت کیفیت و بی نظمی در طراحی رادیویی شبکه‌های تلفن همراه می‌شود. از این رو، تصمیم CRA-DEC 5009-01 در راستای پاسخگویی به نیاز موجود در جامعه برای استفاده از تقویت کننده‌های سیگنال رادیویی با هدف افزایش سطح توان سیگنال دریافتی و پوشش رادیویی تدوین شده است. عدم رعایت مشخصات فنی و دستورالعمل بهره‌برداری از دستگاه‌های مذکور، باعث ایجاد تداخل ناخواسته بر روی سرویس‌های رادیویی دیگر شده و منجر به کاهش کیفیت ارتباط می‌شود.

تمامی موارد مندرج در تصمیم CRA-DEC 5009-01 اعم از مقررات عمومی، استانداردها و ضوابط فنی دستگاه‌های تقویت کننده فعال سیگنال رادیویی شبکه تلفن همراه، باید رعایت شود.

omoorepeyman.ir

۱-۶-۱- اهم الزامات فنی تقویت‌کننده‌ها[۱]

۱-۶-۱-۱- محدود بودن تکه باندهای فرکانسی مورد استفاده در تقویت کننده

باندهای فرکانسی تقویت‌کننده‌ها به باندهای مندرج در جدول (۸-۱) تصمیم شمارهٔ CRA-DEC 5008-04 سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی محدود می‌شوند.

۱-۶-۱-۲- دوطرفه بودن تقویت انجام شده

تقویت انجام شده در تقویت‌کننده‌ها در باند فرکانسی ارسال ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده به گوشی (ارسال فروسو) و باند فرکانسی ارسال گوشی به ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده (ارسال فراسو) با پهنای باند یکسان بوده و استفاده از تقویت کننده یک طرفه ممنوع است.

۱-۶-۱-۳- محدودیت توان تشعشعی سیگنال خروجی

در دستگاه‌های تقویت‌کننده توان تشعشعی سیگنال خروجی به‌شرح زیر است:

- در باند فرکانسی ارسال از تقویت کننده به ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده پس از تقویت، حداکثر ۳۰ dBm e.i.r.p (۱W e.i.r.p)؛
- در باند فرکانسی ارسال از تقویت کننده به گوشی تلفن همراه، حداکثر ۲۰ dBm e.i.r.p (۰/۱ W e.i.r.p)؛
- محدودیت توان پخش زائد

محدودیت حداکثر توان پخش زائد با حداکثر تقویت در خروجی، در هر دو بخش ارسال تقویت کننده به گوشی و تقویت کننده به ایستگاه پایه فرستنده و گیرنده، در دو حالت بدون سیگنال رادیویی در ورودی و با ورودی حداکثر، مطابق مقادیر زیر است:

- ۲۵۰ nW معادل با ۳۶ dBm e.r.p[۲]- در تکه باند فرکانسی ۹ کیلوهرتز تا ۱ گیگاهرتز
- ۱ µW معادل با ۳۰ dBm e.r.p- در تکه باند فرکانسی ۱ گیگاهرتز تا ۱۲/۷۵ گیگاهرتز

۱-۶-۲- الزامات عمومی

۱) رعایت حدود تعیین شده در استاندارد ملی ایران به شماره ۸۵۶۷ با عنوان پرتوهای غیریونساز-حدود پرتوگیری، برای تعیین معیار احراز ایمنی، فاصله از منبع پرتو (آنتن) لازم الاجراست.

۲) رعایت سطح چگالی توان در امواج رادیویی اندازه‌گیری شده مطابق ابلاغیه شماره۱۶/۰۵/۲۳۵۸۳۶مورخ ۱۴۰۰/۰۵/۱۹ سازمان انرژی اتمی ایران به‌عنوان واحد قانونی مندرج در قانون حفاظت در برابر اشعه مصوب ۱۳۶۸ لازم است.

omoorepeyman.ir

---

[۱] موارد ذکر شده در بند ۱-۶-۱، مطابق آخرین ویرایش تصمیم CRA-DEC 5009-01 بوده و آخرین ویرایش و اصلاحات آتی این تصمیم، ملاک عمل خواهد بود.

[۲] Effective Radiated Power

۱-۷- تعیین منبع و فناوری توزیع سیگنال

۱-۷-۱- عوامل کلیدی

عوامل کلیدی در اکوسیستم مرتبط با استقرار سیستم‌های DAS که برای انجام اقدامات ذیربط، نقش آفرینی خواهند کرد، در ادامه این بخش معرفی می‌شوند:

- سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی به‌عنوان تنظیم‌گر ارتباطات.
- مالک یا نماینده قانونی آن که در این ضابطه به اختصار بهره‌بردار نامیده می‌شود.
- مشاور IBS، دارندگان پروانه ارایه خدمات مشاوره و طراحی شبکه‌های رادیویی از سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی.
- اپراتور ارایه دهنده خدمات تلفن همراه، دارای پروانه یکپارچه شبکه و خدمات ارتباطی(UNSP) یا نماینده وی، که در این ضابطه اپراتور نامیده می‌شود.

۱-۷-۲- گام‌های لازم الاجرا

با احتساب عوامل کلیدی فوق، و بر اساس شرایط اجرایی راه‌کارهای IBS در ساختمان‌ها، گام‌های لازم برای اجرا به ترتیب زیر تعیین می‌شود:

گام ۱- بررسی سازه طراحی شده و احراز لزوم استقرار سیستم ارتباطات تلفن همراه درون‌ساختمانی مطابق با جدول (۱-۳) این ضابطه توسط بهره‌بردار.

گام ۲- انتخاب و عقد قرارداد طراحی سیستم ارتباطات تلفن همراه درون‌ساختمانی با اپراتور یا شرکت‌های دارای صلاحیت از مراجع ذی‌صلاح، توسط بهره‌بردار.

توضیح: پرداخت هزینه‌های مربوط به قرارداد موضوع این گام، بر عهده بهره‌بردار است.

گام ۳- تهیه طرح پیشنهادی سیستم مذکور مطابق جدول (۱-۳) با در نظر قراردادن مواردی از قبیل کاهش هزینه‌های اجرایی، ایجاد پوشش شبکه رادیویی بر اساس این ضابطه و ارایه خدمات با کیفیت مطابق مصوبه ۲۸۳ و اصلاحات بعدی، برای استقرار سیستم ارتباطات تلفن همراه درون‌ساختمانی موضوع گام یک توسط اپراتور.

توضیح: در صورت تعیین پیکربندی نوع A، ملاک انتخاب و اجرای این نوع پیکربندی به کیفیت سیگنال برون ساختمانی وابسته است، لذا اپراتور باید تمهیدات لازم از قبیل اندازه‌گیری پوشش رادیویی برون ساختمانی را انجام دهد و در صورت عدم کیفیت مناسب پوشش رادیویی، پیکربندی بعدی را انتخاب کند. در این خصوص باید دلایل فنی مرتبط به همراه نتایج اندازه‌گیری به مستندات طراحی ضمیمه و به رویت و تایید مشاور IBS رسانیده شود.

گام ۴- اخذ تاییدیه رسمی طرح پیشنهادی اپراتور از سوی مشاور IBS و اعلام نتیجه به بهره‌بردار؛

توضیح ۱: اپراتور باید شرح کاملی از طرح پیشنهادی به انضمام تجهیزات مورد نیاز به همراه جزییات طرح به بهره‌بردار ارایه کند.

توضیح ۲: مشاور IBS باید نتیجه بررسی خود را رسما اعلام کند، در صورت عدم تایید طرح با ذکر دلایل مشخص ذیل مفاد این ضابطه، موضوع را به اطلاع اپراتور برساند.

omoorepeyman.ir

توضیح ۳: در صورت اختلاف نظر بین طراحی اپراتور و مشاور IBS، سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی، مرجع اعلام نظر نهایی خواهد بود.

گام ۵- عقد قرارداد اجرا، استقرار و اتصال سیستم ارتباطات تلفن همراه درون‌ساختمانی به شبکه اپراتور؛ از سوی بهره‌بردار با اپراتور. در این قرارداد اپراتور، مسئول اجرای طرح و اتصال سامانه به شبکه خود است.

توضیح ۱: بهره‌بردار می‌تواند تجهیزات سیستم ارتباطات همراه طراحی‌شده در گام‌های خود را از دارندگان پروانه ورود، خرید و فروش یا تولید و فروش تجهیزات رادیویی تامین کند.

توضیح ۲: تامین نیازمندی‌های اجرایی سیستم DAS در داخل ساختمان، از قبیل نصب و اجرای رایزرها، سیستم برق‌رسانی، اتاق یا محل نصب منبع سیگنال سیستم تامین پوشش شبکه‌های رادیویی تلفن همراه درون‌ساختمانی و سیستم سرمایش مناسب، باید بر اساس الزامات ضوابط ۱۱۰ و ۱۲۸ نظام فنی و اجرایی کشور و شرایط این ضابطه و طرح اپراتور تایید شده در گام ۴، انجام شود.

توضیح ۳: توصیه می‌شود تامین برق سیستم تامین پوشش شبکه‌های رادیویی تلفن همراه درون‌ساختمانی، از نوع اضطراری باشد.

توضیح ۴: پرداخت هزینه‌های مربوط به قرارداد و تامین تجهیزات و سایر هزینه‌های مترتب بر عهده بهره‌بردار است. چنانچه طراحی و اجرا با یک اپراتور باشد، هزینه قرارداد طراحی از هزینه اجرا کسر می‌شود.

گام ۶- عقد قرارداد پشتیبانی، نگهداری دوره‌ای و بهینه‌سازی سیستم تامین پوشش شبکه‌های رادیویی تلفن همراه درون‌ساختمانی، توسط بهره‌بردار با اپراتور موضوع گام پنجم.

در این قرارداد نیز اپراتور مسئول پشتیبانی فنی و به‌روزرسانی‌های نرم‌افزاری است؛ بهره‌بردار نیز مسئول نگه‌داری فیزیکی و تامین شرایط محیطی موردنیاز تجهیزات اپراتور است.

خروجی هر یک از گام‌های بند ۱-۷-۲ باید در قالب مستندات طراحی، آزمون و تحویل، مطابق الزامات این ضابطه تنظیم و نگهداری شده و به بهره‌بردار تحویل شود. عدم تهیه یا ناقص بودن این مستندات به منزله عدم تحقق فرآیند اجرایی تلقی خواهد شد.

۱-۷-۳- فناوری منتخب بر حسب منبع سیگنال و فناوری توزیع سیگنال

فضای استقرار و پیکربندی سیستم تامین پوشش شبکه‌های رادیویی تلفن همراه درون‌ساختمانی، با انتخاب یک فناوری از بین ۴ فناوری توزیع سیگنال و یک منبع سیگنال از بین ۳ نوع آن و بر اساس تلفیقی از دیگر الزامات این ضابطه بوده که در مجموع ۱۲ گزینهٔ قابل انتخاب را مطابق جدول (۱-۲) فراهم می‌کند.

جدول۱-۲- انتخاب منبع سیگنال و فناوری توزیع سیگنال

منبع سیگنال (S)	فناوری توزیع سیگنال (T)			
	DAS دیجیتال	DAS ترکیبی	DAS فعال	DAS غیرفعال
فضای بیرونی [1]	S1T4	S1T3	S1T2	S1T1(A)
سلول‌های کوچک	S2T4	S2T3	S2T2	S2T1(B)
سلول‌های بزرگ	S3T4(C4)	S3T3(C3)	S3T2(C2)	S3T1(C1)

[1] تقویت‌کننده، این نوع منبع محسوب می‌شود

omoorepeyman.ir

شش مورد پیکربندی که اپراتور باید با توجه به مفاد جدول (۱-۳) انتخاب و بر اساس آن طراحی کند، شامل این موارد است:

۱) سیستم DAS غیرفعال با منبع فضای بیرونی (A)،
۲) سیستم DAS غیرفعال با منبع سلول‌های کوچک (B)،
۳) سیستم DAS غیرفعال با منبع سلول‌های بزرگ BTS (C1)،
۴) سیستم DAS فعال با منبع سلول‌های بزرگ BTS (C2)،
۵) سیستم DAS ترکیبی با منبع سلول‌های بزرگ BTS (C3)،
۶) سیستم DAS دیجیتال با منبع سلول‌های بزرگ BTS (C4).

۱-۷-۴- الزامات

اپراتور مسئول است با توجه به گزینه‌های ۶ گانه‌ی A تا C4 جدول (۱-۲) و معیارهای مندرج در جدول (۱-۳)، نوع سیستم ارتباطی درون‌ساختمانی را انتخاب و طراحی کند.
اطلاعات جدول (۱-۳) باید توسط بهره‌بردار تکمیل و نیاز اولیه وی مشخص شود. اپراتور پس از بررسی‌های فنی و به فراخور شرایط ساختمان می‌تواند پیکربندی و/یا سطحی کمتر از آن را برای طراحی انتخاب و به بهره‌بردار پیشنهاد کند.

جدول۱-۳- نیازسنجی مطالعه و طراحی IBS

ردیف	شاخص	واحد	عدم نیاز به سیستم ارتباطی[۲]	A[۱]	B[۱]	(C1, C2, C3, C4)[۱]
۱	عمق ساختمان	متر	کمتر از۱۰	کمتر از ۲۰	کمتر از ۴۰	بیش از ۴۰
۲	بزرگترین سطح مقطع ساختمان	مترمربع	کمتر از ۱۰۰	کمتر از ۲۰۰	کمتر از ۴۰۰	بیش از ۴۰۰
۳	ارتفاع مثبت ساختمان (آخرین سقف مسکونی)	متر	کمتر از ۱۰	کمتر از ۲۰	کمتر از ۴۰	بیش از ۴۰
۴	ارتفاع منفی ساختمان	متر	کمتر از ۴	کمتر از ۱۲	کمتر از ۱۵	بیش از۱۵
۵	درجه اهمیت ساختمان مطابق با جدول (۱-۴)	کد گروه	۵	۴ و ۵	۳، ۴ و ۵	۱، ۲، ۳، ۴ و ۵
۶	متوسط تعداد کاربر کل ساختمان[۳]	نفر	کمتر از ۵۰	بین ۵۰ تا ۱۵۰	بین ۱۵۰ تا ۳۰۰	بیش از ۳۰۰

[۱] پیکربندی‌های A، B، C1، C2، C3 و C4 مطابق جدول (۱-۲) است.
[۲] در صورتی که تمام شاخص‌های این ستون با هم محقق شود، نیازی به اجرای سیستم تامین پوشش شبکه‌های رادیویی تلفن همراه درون‌ساختمانی نیست.
[۳] در صورتی که تمام شاخص‌های ذیل پیکربندی‌های مندرج در ردیف‌های ۱ تا ۵ این جدول محقق شده باشد ولی تعداد کاربران مطابق آن پیکربندی نباشد، در این صورت ملاک عمل پیکربندی خواهد بود که، مطابق با متوسط تعداد کاربر کل ساختمان است. در صورتیکه تعداد متوسط کاربر کل ساختمان در پیکربندی تعیین شده مطابق مشخصات ساختمان، کمتر از مقادیر مندرج در این جدول باشد، بهره‌بردار به اختیار خود می‌تواند پیکربندی مذکور را انتخاب یا پیکربندی با سطح پایین‌تر را متناسب با متوسط تعداد کاربر کل ساختمان و درجه اهمیت، به پیشنهاد اپراتور انتخاب کند.
تعداد افراد در «محل تجمع و یا استقرار جمعیت» با «متوسط تعداد کاربر کل ساختمان» متفاوت است. متوسط تعداد کاربر توسط بهربردار تعیین می‌شود.

در جدول (۱-۴) درجه اهمیت ساختمان‌ها بر اساس مباحث مقررات ملی ساختمان ایران، بیان شده است.

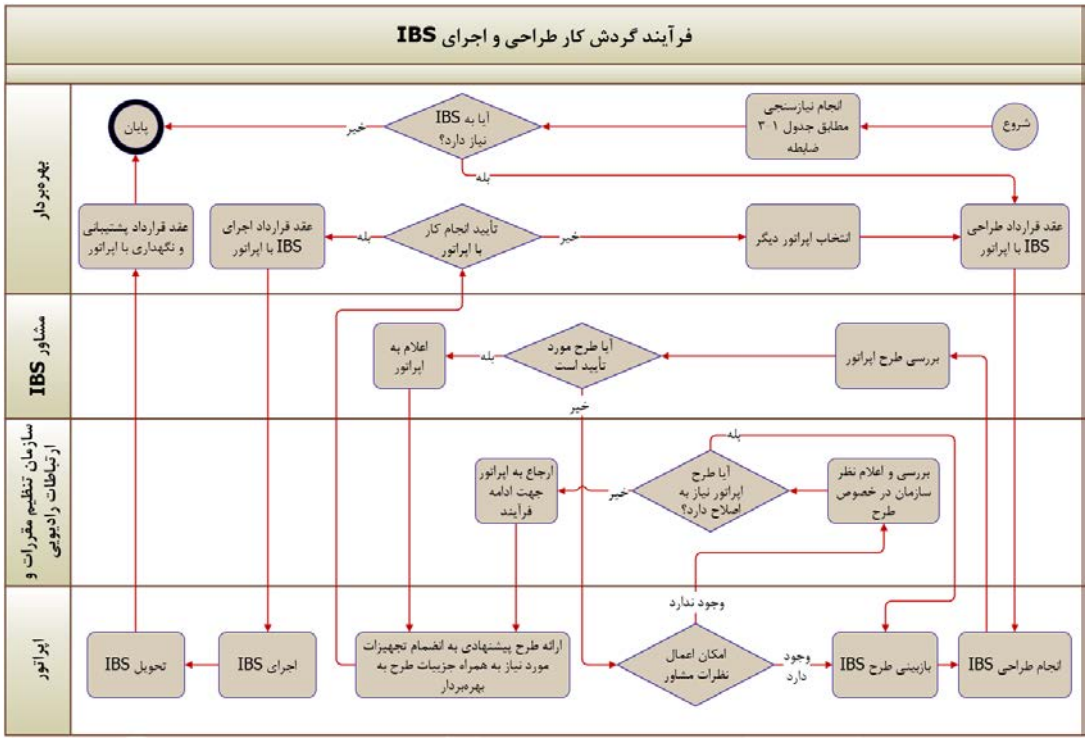
omoorepeyman.ir

جدول۱-۴- درجه اهمیت ساختمان‌ها

گروه	درجه اهمیت	ویژگی	نمونه	
۱	ویژه	-ساختمان‌های دولتی حیاتی	-فرماندهی مدیریت بحران کشور -ساختمان‌های راهبردی ارتباطات و فناوری اطلاعات -ساختمان‌های راهبردی صدا و سیما -وزارتخانه‌های کشور، امورخارجه، ارتباطات و فناوری اطلاعات -بخش‌های راهبردی بانک‌ها بویژه بانک مرکزی و ذخایر آنها (دفینه).	-ساختمان‌های راهبردی آب و انرژی -دفینه موزه‌های مهم -مراکزاسناد، رایانه‌ها و داده‌های حیاتی -ساختمان‌های راهبردی قوای سه‌گانه مجریه، مقنّنه و قضاییه
۲	بسیار زیاد	-ساختمان‌های دولتی حساس -محل تجمع و یا استقرار جمعیت بیش از ۵۰۰ نفر -ساختمان بلندتر از ۱۵ طبقه و یا بیشتر از ۱۵۰۰۰ متر مربع زیربنای مفید (گروه د مبحث دوم مقررات ملی ساختمان)	-بیمارستان‌های بیش از ۹۶ تختخواب -ساختمان‌های راهبردی فرودگاه‌های بزرگ -ساختمان‌های راهبردی حمل و نقل ریلی و مراکز کنترل ترافیک -بخش‌های حساس شعبات مرکزی بانک‌ها -وزارتخانه‌ها و مراکز اداری حساس	-ساختمان‌های راهبردی مراکز صنعتی و تولیدی حساس -فرماندهی مدیریت بحران و ستادهای امداد و نجات استان -مراکز اسناد، رایانه‌ها و داده‌های حساس -استانداری‌ها
۳	زیاد	-ساختمان‌های مهم -محل تجمع و یا استقرار جمعیت ۲۰۰ تا ۵۰۰ نفر -ساختمان‌های ۹ تا ۱۵ طبقه و یا ۸۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ متر مربع زیربنای مفید (گروه ج مبحث دوم مقررات ملی ساختمان)	-بیمارستان‌های کمتر از ۹۶ تختخواب -مراکز آموزشی بزرگ -مراکز اداری مهم استانی -ساختمان‌های مسکونی، تجاری، صنعتی و تولیدی -مراکز خدماتی مهم -فروشگاه‌های بزرگ -مساجد و مراکز مذهبی و فرهنگی بزرگ و متوسط	-دفاتر مرکزی صنایع مادر -بخش‌های مهم شعبات مرکزی بانک‌ها در استان -زندان‌های مهم و یا بزرگ -فرماندهی مدیریت بحران و ستادهای امداد و نجات شهرستان -مراکز اسناد، رایانه‌ها و داده‌های مهم
۴	متوسط	-ساختمان‌های با اهمیت متوسط -محل تجمع و یا استقرار جمعیت کمتر از ۲۰۰ نفر تا ۲۰ نفر -ساختمان‌های ۴ تا ۸ طبقه و یا ۱۰۰۰ تا ۸۰۰۰ متر مربع زیربنای مفید (گروه ب مبحث دوم مقررات ملی ساختمان)	-واحدهای مسکونی، اداری، تجاری و خدماتی -درمانگاه‌ها و کلینیک‌ها -مراکز آموزشی متوسط	
۵	کم	-ساختمان‌های با اهمیت کم -محل تجمع و یا استقرار جمعیت کمتر از ۲۰ نفر -ساختمان‌های تا ۳ طبقه و یا تا ۱۰۰۰ متر مربع زیربنای مفید (گروه الف مبحث دوم مقررات ملی ساختمان)	-واحدهای مسکونی، اداری، تجاری و خدماتی -تعاونی‌ها -ساختمان‌های موقت با مدت بهره‌برداری کمتر از ۵ سال	

omoorepeyman.ir

شکل (۱-۴) نحوه گردش کارها و نقش هر یک از ذینفعان را جهت برنامه‌ریزی و اجرای IBS در راه‌کار، نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴- مراحل اجرای کار

۱-۸- توضیحات فنی راه‌کارهای IBS

انتخاب صحیح راه‌کار IBS، یک تصمیم‌گیری چندبعدی است که علاوه بر رعایت الزامات مندرج در جدول (۱-۳) این ضابطه، باید مواردی مانند بودجه، شرایط بهره‌بردار و قابلیت توسعه، برای آن در نظر گرفته شود. راه‌کار اتخاذ شده باید با استانداردهای مرتبط و مصوبات رگولاتوری سازگار باشد. درغیر این‌صورت، ممکن است با مشکلاتی مانند تداخل با شبکه ماکرو و افزایش نویز مواجه شود. هم‌چنین، تمامی مراحل اجرایی از طراحی گرفته تا آزمون و نگه‌داری باید با دقت و توسط متخصصان[۱] انجام شود.

در نهایت، اجرای صحیح این راه‌کارعلاوه بر بهبود کیفیت خدمات ،موجب ارتقای امنیت، قابلیت اطمینان و کارایی شبکه اپراتور خواهد شد.

خروجی هر یک از گام‌های بند ۱-۷-۲ باید در قالب مستندات طراحی، آزمون و تحویل و مطابق بند ۱-۹ این ضابطه، تهیه، تنظیم و ارایه شود.

[۱] منظور از متخصص، گروه فنی اپراتور یا شرکت‌های دارای صلاحیت از مراجع ذی‌صلاح است.

۱-۸-۱- سلول‌های کوچک

سلول‌های کوچک شامل فمتوسل، پیکوسل و میکروسل هستند که به‌منظور بهبود پوشش و ظرفیت در مناطق داخلی یا در نقاطی با ترافیک بالا استفاده می‌شوند. این سلول‌ها با توان کمتر و اندازه کوچکتر، گزینه‌های مناسبی برای استقرار در محیط‌های مختلف هستند.

۱-۸-۱-۱- فمتوسل

فمتوسل یک ایستگاه پایه کوچک است که معمولا در محیط‌های خانگی یا اداری کوچک استفاده می‌شود. این دستگاه از طریق اتصال به اینترنت به روش DSL یا فیبرنوری، سیگنال شبکه موبایل را دریافت کرده و دوباره منتشر می‌کند. مزایای عمده فمتوسل عبارت است از: قیمت مناسب، بهبود قابل توجه کیفیت مکالمات و انتقال داده. با این حال، این راه‌کار به کیفیت اینترانت محلی وابسته است و تمامی اپراتورها ممکن است به آن دسترسی نداشته باشند.

۱-۸-۱-۱-۱- معرفی فنی

فمتوسل، کوچک‌ترین نوع سلول‌های کوچک است که اغلب در محیط‌های خانگی یا اداری کوچک قرار می‌گیرد. این سلول‌ها به‌عنوان یک ایستگاه پایه محلی عمل کرده و بدون نیاز به اتصال مستقیم به BTS مرکزی، سیگنال شبکه موبایل را از طریق اینترنت به روش DSL یا فیبرنوری دریافت کرده و دوباره منتشر می‌کند.
جزئیات ظرفیت فمتوسل در بند ۱-۴-۲-۳ این ضابطه آمده است.

۱-۸-۱-۲- مشخصات فنی

- منبع تغذیه: اتصال به برق شهری؛
- منبع سیگنال: اینترنت به روش DSL، HFC یا فیبرنوری؛
- فرکانس کاری: در باندهای فرکانسی دارای پروانه کار می‌کند (معمولا GSM، UMTS یا LTE).

۱-۸-۱-۲-۱- الزامات استقرار

- راه‌اندازی: فمتوسل‌ها پس از اعمال تنظیمات و پارامترهای شبکه توسط متخصص اپراتور، توسط بهره‌بردار قابل نصب است.
- موقعیت نصب: داخل خانه، دفتر کوچک، یا محیط‌هایی با پوشش ضعیف؛
- نیازمندی‌های زیرساختی: فقط نیاز به اتصال اینترانت ثابت دارد.

۱-۸-۱-۲-۲- محدودیت‌های فنی

- وابستگی عملکرد به کیفیت اینترنت موجود؛
- عدم دسترسی تمام اپراتورها؛
- محدود به یک باند فرکانسی؛
- عدم امکان توسعه در صورت افزایش تعداد کاربران.

omoorepeyman.ir

۱-۸-۱-۲-۳- کاربردهای عمومی

- خانه‌های مسکونی؛
- دفاتر و واحدهای اداری کوچک.

۱-۸-۱-۳- پیکوسل

پیکوسل به عنوان نسخه‌ی پیشرفته‌تر فمتوسل، یک سلول کوچک، اما با قابلیت پوشش بیشتر و ظرفیت بالاتر کاربر هم‌زمان است. این نوع سلول‌ها بیشتر در مراکز تجاری، بیمارستان‌ها، هتل‌ها و سایر مکان‌های عمومی کاربرد دارند. پیکوسل در مقایسه با فمتوسل، دارای توان خروجی بیشتری است و به اینترانت پایدار و با سرعت و پهنای باند بیشتری نیاز دارد. یکی از مهم‌ترین مزایای این سلول‌ها، پوشش بهتر نسبت به فمتوسل در قابلیت پشتیبانی از خدمات صوتی و داده است.

۱-۸-۱-۳-۱- معرفی فنی

پیکوسل یک سلول کوچک است که برای پوشش درون‌ساختمانی در مقیاس متوسط طراحی شده است. این سلول‌ها عمدتا در مراکز تجاری، هتل‌ها، بیمارستان‌ها و ساختمان‌های اداری کاربرد دارند و قادرند تعداد بیشتری از کاربران را پشتیبانی کنند. جزئیات راه‌کار پیکوسل در بند ۱-۴-۲-۲ این ضابطه آمده است.

۱-۸-۱-۳-۲- مشخصات فنی

- منبع تغذیه: اتصال به برق شهری یا منبع UPS؛
- منبع سیگنال: اینترانت بر روی فیبرنوری، شبکه مویرگی، یا سیگنال برون ساختمانی؛
- فرکانس کاری: باندهای GSM، UMTS، LTE و در بعضی موارد 5G.

۱-۸-۱-۳-۳- الزامات استقرار

- راه‌اندازی: پس از اعمال تنظیمات و پارامترهای شبکه، توسط متخصص اپراتور نصب می‌شود.
- موقعیت نصب: درون ساختمان‌های متوسط تا بزرگ؛
- نیازمندی‌های زیرساختی: فقط نیاز به اتصال اینترانت ثابت با پهنای باند بالا مانند ارتباط فیبرنوری دارد.

۱-۸-۱-۳-۴- محدودیت‌های فنی

- وابستگی به کیفیت اینترانت؛
- نیاز به نصب حرفه‌ای؛
- هزینه بالاتر نسبت به فمتوسل؛
- عدم دسترسی تمام اپراتورها.

omoorepeyman.ir

۱-۸-۱-۳-۵- کاربردهای عمومی

- هتل‌ها و مجتمع‌های اداری؛
- بیمارستان‌ها و مراکز درمانی؛
- مراکز خرید کوچک و متوسط؛
- دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی.

۱-۸-۱-۴- میکروسل

میکروسل با دامنه پوشش بیشتر و ظرفیت بالاتر نسبت به دو نوع قبلی، برای استفاده در ساختمان‌های بلندمرتبه، مرکزهای شهری و فرودگاه‌ها مناسب است. این سلول‌ها دارای توان خروجی بیشتری هستند و اغلب به‌صورت مستقیم به شبکه اصلی اپراتور متصل می‌شوند. میکروسل نیازمند نصب حرفه‌ای، مجوز لازم، و فضای فیزیکی مناسب است و هزینه نصب و راه‌اندازی فنی[۱] آن نسبت به دو نوع قبلی بیشتر است.

۱-۸-۱-۴-۱- معرفی فنی

میکروسل، بزرگترین نوع سلول کوچک است که برای پوشش درون‌ساختمانی و حتی درون شهری طراحی شده است. این سلول‌ها دارای ظرفیت بالا و پوشش گسترده‌تری هستند و اغلب به‌صورت مستقیم به شبکه اصلی اپراتور متصل می‌شوند. جزئیات راه‌کار میکروسل در بند ۱-۴-۲-۱ این ضابطه آمده است.

۱-۸-۱-۴-۲- مشخصات فنی

- منبع انرژی: برق شهری و سیستم خنک‌کننده (در صورت نصب بیرونی)؛
- منبع سیگنال: اتصال مستقیم به شبکه اصلی اپراتور (فیبرنوری و مایکروویو)؛
- فرکانس کاری: GSM، UMTS، LTE، و در برخی موارد 5G.

۱-۸-۱-۴-۳- الزامات استقرار

- نیاز به برنامه‌ریزی دقیق: باید طراحی شبکه رادیویی، آزمون پوشش و محاسبات بودجه پیوند انجام شود.
- مکان‌های مناسب نصب: ساختمان‌های بلندمرتبه، فضاهای عمومی و شهری؛
- ملاحظات فیزیکی: نیاز به فضای مناسب برای تجهیزات و سیستم خنک‌کننده.

۱-۸-۱-۴-۴- محدودیت‌های فنی

- هزینه بالا؛
- نیاز به اخذ مجوز و تاییدیه از مراجع رگولاتوری؛

omoorepeyman.ir

[۱] Commissioning

- نیاز به نصب حرفه‌ای و تجهیزات جانبی؛
- نیاز به فضای فیزیکی و سیستم خنک‌کننده.

۱-۸-۱-۴-۵- کاربردهای عمومی

- ساختمان‌های بلندمرتبه؛
- مراکز شهری با ترافیک بالا؛
- فرودگاه‌ها و ایستگاه‌های قطار؛
- استادیوم‌های ورزشی و محل‌های عمومی.

جدول (۱-۵) این سه راه‌کار را با توجه به مشخصات فنی آنها، مقایسه کرده است.

جدول۱-۵- مقایسه فنی فمتوسل، پیکوسل و میکروسل

مشخصه	راه‌کار		
	فمتوسل	پیکوسل	میکروسل
دامنه پوشش (متر)	کمتر از ۳۰	۹۰ تا ۳۰۰	۱۸۰ تا ۹۰۰
ظرفیت کاربران همزمان	کمتر از ۱۶	۱۶ تا ۶۴	۱۰۰ تا ۲۰۰۰
ظرفیت کاربران ثبت شده	کمتر از ۳۲	۳۰ تا ۲۰۰	۵۰۰ تا ۱۰۰۰
توان خروجی	کمتر از ۲۰۰ میلی‌وات	۲۵۰ میلی‌وات تا ۲ وات	۲ تا ۲۰ وات
زیرساخت اتصال به شبکه اصلی	اینترنت	اینترانت ترجیحا با فیبرنوری	فیبرنوری / مایکروویو
نوع استقرار	خانگی / اداری کوچک	اداری / عمومی	شهری / عمومی
هزینه نصب	پایین (پس از راه‌اندازی اولیه)	متوسط	بالا
نیاز به متخصص برای نصب	بله	بله	بله
قابلیت توسعه	محدود	متوسط	بالا

۱-۸-۲- سیستم DAS

سیستم DAS به‌عنوان یکی از مهم‌ترین راه‌کارهای بهبود پوشش شبکه‌های موبایل در محیط‌های درون‌ساختمانی، نقش بسیار مهمی در تقویت سیگنال، افزایش ظرفیت شبکه و بهبود کیفیت خدمات دارد. این سیستم از مجموعه‌ای از آنتن‌های توزیع‌شده در نقاط مختلف ساختمان تشکیل شده است که انتخاب منبع و فناوری بر اساس گام ۳ بند ۱-۷ و مطابق الزامات جدول (۱-۳) این ضابطه انجام می‌شود.

این سیستم‌ها بر اساس نوع فناوری مورد استفاده در توزیع سیگنال، به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شوند: غیرفعال، فعال، ترکیبی و دیجیتال. در ادامه، هر یک از این سیستم‌ها شرح داده شده است.

omoorepeyman.ir

۱-۸-۲-۱- سیستم DAS غیرفعال

۱-۸-۲-۱-۱- ساختار و نحوه عملکرد

سیستم DAS غیرفعال از مؤلفه‌های شبکه رادیویی غیرفعال تشکیل شده است که شامل موارد زیر است:

- کابل‌های هم‌محور؛
- تقسیم‌کننده‌ها؛
- تزویج‌کننده‌ها؛
- انشعاب‌گیرها.

این سیستم بدون استفاده از قطعات الکترونیکی فعال، سیگنال را از یک منبع مرکزی (مانند BTS، سلول کوچک یا سیگنال برون ساختمانی) دریافت و از طریق مجموعه‌ای از کابل‌ها و آنتن‌ها در نقاط مختلف ساختمان توزیع می‌کند.
در بند ۱-۵-۳-۱ توضیحات کلی در خصوص این راه‌کار ارایه شده است.

۱-۸-۲-۱-۲- مشخصات فنی

- منبع سیگنال: سیگنال برون ساختمانی، سلول کوچک یا BTS؛
- نوع انتقال: کابل هم‌محور (معمولا با قطر بالا)؛
- دامنه پوشش: محدود به چند صد متر (با توجه به تلفات کابل)؛
- فضا: مناسب برای ساختمان‌های کوچک و متوسط؛
- قابلیت توسعه: محدود؛
- تقویت سیگنال: در صورت طولانی بودن مسیر کابل، استفاده از تقویت‌کننده الزامی است.

۱-۸-۲-۱-۳- الزامات استقرار

نصب سیستم DAS غیرفعال نسبتا ساده است، اما طراحی دقیق بودجه پیوند باید انجام شود. زیرا هر چه آنتن‌ها دورتر از منبع سیگنال باشند، تضعیف سیگنال بیشتر می‌شود و لذا باید تعادل دقیقی بین توان خروجی و تلفات ایجاد شود.

۱-۸-۲-۱-۴- محدودیت‌ها

- تلفات بالای سیگنال در صورت استفاده از کابل‌های مسی طولانی؛
- نیاز به محاسبات دقیق در طراحی؛
- عدم پشتیبانی از چندین اپراتور به‌صورت هم‌زمان بدون تجهیزات جداگانه؛
- محدودیت در پوشش و ظرفیت.

۱-۸-۲-۱-۵- کاربردهای عمومی

- ساختمان‌های گروه ۱ و ۵ ذکر شده در جدول (۱-۴) این ضابطه.

omoorepeyman.ir

۱-۸-۲-۲- سیستم DAS فعال

۱-۸-۲-۲-۱- ساختار و نحوه عملکرد

سیستم DAS فعال، سیگنال را به‌صورت دیجیتال منتقل می‌کند و سپس آن را در RRU دوباره به سیگنال رادیویی تبدیل می‌کند. این سیستم اغلب از فیبرنوری یا کابل اترنت مسی برای انتقال سیگنال استفاده می‌کند و نیازی به کابل‌های هم‌محور گران‌قیمت ندارد. اطلاعات کلی این راه‌کار در بند ۱-۵-۳-۲ این ضابطه آمده است.

۱-۸-۲-۲-۲- مشخصات فنی

- منبع سیگنال: سلول کوچک، BTS یا سیگنال برون ساختمانی؛
- نوع انتقال: دیجیتال (کابل فیبرنوری یا مسی)؛
- محدوده پوشش: تقریبا نامحدود (به‌دلیل عدم تلفات در فیبرنوری)؛
- فضا: مناسب برای ساختمان‌های بزرگ با ترافیک بالا؛
- قابلیت توسعه: بالا؛
- تجهیزات مورد نیاز: RRU، فیدر دیجیتال، منبع تغذیه اختصاصی.

۱-۸-۲-۲-۳- الزامات استقرار

در این سیستم، سیگنال ابتدا به‌صورت دیجیتال از طریق فیبرنوری یا کابل اترنت منتقل شده و سپس در واحد RRU به سیگنال آنالوگ رادیویی تبدیل می‌شود. این امر باعث کاهش تلفات و افزایش کیفیت سیگنال می‌شود.

۱-۸-۲-۲-۴- محدودیت‌ها

- هزینه بالای تجهیزات؛
- نیاز به تامین برق اختصاصی برای واحدهای RRU؛
- نیاز به متخصص برای طراحی و نصب؛
- نیاز به سیستم مدیریت دیجیتال.

۱-۸-۲-۲-۵- کاربردهای عمومی

- ساختمان‌های گروه ۱ تا ۴ ذکر شده در جدول (۱-۴) این ضابطه (مانند برج‌ها، فرودگاه‌ها و استادیوم‌ها).

omoorepeyman.ir

۱-۸-۲-۳- سیستم DAS ترکیبی

۱-۸-۲-۳-۱- ساختار و نحوه عملکرد

سیستم DAS ترکیبی، ترکیبی از فناوری‌های غیرفعال و فعال است. در این سیستم، از فیبرنوری برای انتقال سیگنال دیجیتال استفاده می‌شود، اما در سطح محلی، از کابل‌های هم‌محور برای توزیع سیگنال استفاده می‌شود. این ساختار امکان بهره‌مندی از مزایای هر دو سیستم را فراهم می‌سازد.

۱-۸-۲-۳-۲- مشخصات فنی

- منبع سیگنال: سلول کوچک، BTS یا سیگنال برون ساختمانی؛
- نوع انتقال: ترکیبی (فیبرنوری و کابل هم‌محور)؛
- محدوده پوشش: متوسط تا زیاد؛
- فضا: مناسب برای ساختمان‌های متوسط تا بزرگ؛
- قابلیت توسعه: خوب؛
- تجهیزات موردنیاز: RRU، فیبرنوری، کابل هم‌محور.

۱-۸-۲-۳-۳- الزامات استقرار

در این سیستم، یک RRU در هر طبقه قرار می‌گیرد که سیگنال دیجیتال دریافتی را به سیگنال رادیویی آنالوگ تبدیل کرده و سپس از طریق کابل‌های هم‌محور به چندین آنتن در آن طبقه متصل می‌شود.

۱-۸-۲-۳-۴- محدودیت‌ها

- هزینه بالاتر نسبت به سیستم DAS غیرفعال؛
- نیاز به طراحی بودجه پیوند در هر طبقه؛
- پیچیدگی بیشتر در نصب و تنظیمات.

۱-۸-۲-۳-۵- کاربردهای عمومی

- ساختمان‌های گروه ۱ تا ۳ ذکر شده در جدول (۱-۴) این ضابطه.

۱-۸-۲-۴- سیستم DAS دیجیتال

۱-۸-۲-۴-۱- ساختار و نحوه عملکرد

در این سیستم، سیگنال مربوط به هر یک از اپراتورهای تلفن همراه قبل از انتقال، به‌صورت دیجیتال درآمده و سپس از طریق فیبرنوری یا کابل مسی به واحدهای آنتنی ارسال می‌شود. این رویکرد از تداخل بین سیگنال‌ها جلوگیری کرده و امکان کنترل هوشمندانه‌تری را فراهم می‌کند.

omoorepeyman.ir

۱-۸-۲-۴-۲- مشخصات فنی

- منبع سیگنال: سلول کوچک، BTS یا سیگنال برون ساختمانی؛
- نوع انتقال: دیجیتال (کابل فیبرنوری یا مسی)؛
- محدوده پوشش: نامحدود؛
- ظرفیت: بسیار بالا؛
- قابلیت توسعه: بسیار بالا؛
- تجهیزات مورد نیاز: BBU، RRU دیجیتال، سوئیچ‌های دیجیتال.

۱-۸-۲-۴-۳- الزامات استقرار

سیگنال دیجیتال در مرکز سیستم به تمامی واحدهای RRU دیجیتالی ارسال می‌شود و هر واحد آن را به‌صورت مستقل پردازش می‌کند. این امر باعث کاهش نویز و بهبود کیفیت سیگنال می‌شود.

۱-۸-۲-۴-۴- محدودیت‌ها

- هزینه بسیار بالا؛
- نیاز به تجهیزات دیجیتال گران‌قیمت؛
- نیاز به نرم‌افزارهای مدیریتی پیشرفته؛
- پیچیدگی در طراحی و نصب.

۱-۸-۲-۴-۵- کاربردهای عمومی

- ساختمان‌های گروه ۱ تا ۳ ذکر شده در جدول (۱-۴) این ضابطه؛
- فضاهایی با نیاز به تغییرات مکرر در الگوی پوشش (مانند سالن‌های نمایشگاهی).

در جدول (۱-۶) چهار نوع راه‌کار سیستم‌های DAS با یکدیگر مقایسه شده است. هم‌چنین برای آشنایی بهتر، در شکل ۱-۵ کلیات پیکربندی هر یک بیان شده است.

۱-۸-۳- راه‌کار تقویت‌کننده

تقویت‌کننده‌های سیگنال برای افزایش توان سیگنال دریافتی از محیط بیرونی و بازپخش آن در فضای درون‌ساختمانی استفاده می‌شوند. در طراحی این بخش، پارامترهای اصلی شامل محل دریافت سیگنال، AGC[۱] و ULPC[۲] باید در نظر

[۱] کنترل خودکار بهره یا Automatic Gain Control، یک مکانیزم در تقویت‌کننده‌ها، گیرنده‌ها و سیستم‌های رادیویی است که به‌صورت خودکار میزان بهره مدار را تنظیم می‌کند تا سطح سیگنال خروجی ثابت بماند، حتی اگر شدت سیگنال ورودی تغییر کند.

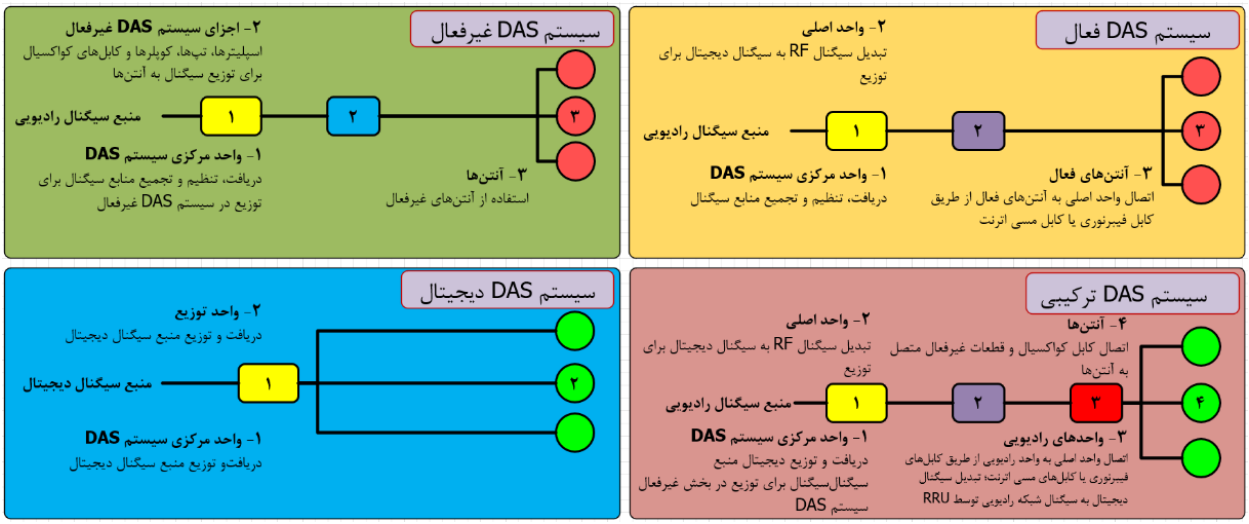
[۲] یا Uplink Power Control، برای کنترل توان ارسال از سوی تجهیزات سیم‌کارت‌خور سمت کاربر به منظور جلوگیری از افزایش کف نویز در مسیر فراسو، استفاده می‌شود.

omoorepeyman.ir

گرفته شوند. در صورت استفاده ترکیبی از تقویت‌کننده با سایر راه‌کارها، ارزیابی تداخل فرکانسی و ظرفیت باید توسط تیم فنی اپراتور انجام شود و نتایج در مستندات طراحی ثبت شود.

جدول۱-۶- مقایسه چهار نوع سیستم DAS

مشخصه	راه‌کار			
	سیستم DAS غیرفعال	سیستم DAS فعال	سیستم DAS ترکیبی	سیستم DAS دیجیتال
نوع انتقال سیگنال	آنالوگ	دیجیتال	ترکیبی (دیجیتال و آنالوگ)	دیجیتال
نوع کابل	کابل هم‌محور	فیبرنوری / اترنت	فیبرنوری و هم‌محور	فیبرنوری / اترنت
نیاز به تقویت‌کننده	بله، در صورت لزوم	خیر	خیر	خیر
هزینه نصب	پایین	بالا	متوسط	بسیار بالا
قابلیت توسعه	محدود	بالا	خوب	بسیار بالا
پشتیبانی از چند اپراتوری	عدم پشتیبانی	پشتیبانی می‌کند	پشتیبانی می‌کند	پشتیبانی می‌کند
نیاز به برق اختصاصی	خیر	بله	بله	بله



شکل ۱-۵- کلیات پیکربندی‌ها در سیستم DAS

۱-۸-۳-۱- ساختار و عملکرد

تقویت‌کننده از سه بخش اصلی تشکیل می‌شود:

- آنتن خارجی: دریافت سیگنال از ایستگاه پایه یا سلول ماکرو،
- واحد تقویت سیگنال رادیویی: افزایش سطح سیگنال دریافتی با حفظ ساختار داده، با کنترل خودکار بهره و توان برگشتی،
- آنتن داخلی: انتشار سیگنال تقویت‌شده در محدوده داخلی.

تقویت در هر دو مسیر فروسو و فراسو به‌طور هم‌زمان انجام می‌شود و تقویت‌کننده، سیگنال جدیدی تولید نمی‌کند.

omoorepeyman.ir

۱-۸-۳-۲- منبع سیگنال

- سیگنال برون ساختمانی از BTS یا شبکه ماکرو.

۱-۸-۳-۳- باند فرکانسی، توان خروجی و محدودیت‌های فنی

این موارد در بند ۱-۶ این ضابطه بطور کامل توضیح داده شده است.

۱-۸-۳-۴- نحوه انتقال سیگنال

- صرفا تقویت سیگنال رادیویی بدون تغییر در ساختار داده؛
- بدون تبدیل آنالوگ به دیجیتال یا برعکس.

۱-۸-۳-۵- استانداردهای لازم

- باید دارای گواهی استاندارد ETSI EN 303 609 و ITU-R SM.329 باشد.
- مطابق با الزامات فنی تصمیم CRA-DEC 5009-01 باشد.

۱-۸-۳-۶- نحوه استقرار

نصب تقویت‌کننده نسبتا ساده است، اما لازم است در موارد زیر دقت شود:

- فاصله کافی بین آنتن خارجی و داخلی باید به گونه‌ای باشد که تضعیف مسیر بین آن‌ها حداقل ۱۰ تا ۱۵ dB بیشتر از بهره تقویت‌کننده باشد تا از ایجاد یک حلقه تکرار شونده[۱] جلوگیری شود.
- محل مناسب برای نصب آنتن خارجی باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که دارای دید مستقیم به سایت ماکروی هدف باشد و در عین‌حال از سایت‌های دیگر اپراتورها یا منابع تشعشع ناخواسته حداقل ۳۰ متر[۲] فاصله داشته باشد. آنتن داخلی باید در ناحیه مرکزی طبقات و دور از پنجره‌ها نصب شود تا از انتشار انرژی به بیرون و تداخل با شبکه ماکرو جلوگیری شود. هدف از این الزام، پیشگیری از دو نوع تداخل است:
- ناپایداری بهره توان در اثر کوپل ناخواسته بین آنتن‌های خارجی و داخلی؛
- تداخل بین‌سلولی[۳] با سایت‌های مجاور؛
- جهت تابش آنتن خارجی باید دقیقا به سمت سایت ماکرو هدف تنظیم شود و در صورت امکان از آنتن‌های جهت‌دار با بهره‌بالا (حداقل ۹ تا ۱۲ dBi[۴]) استفاده شود؛

---

[۱] این ویژگی به نام Non-Oscillation نامیده می‌شود.

[۲] فاصله ۳۰ متر تضمین می‌کند که تراز توان سیگنال دریافتی از منابع ناخواسته حداقل ۳۰ تا ۴۰ dB کمتر از سیگنال هدف باشد؛ در محیط‌های شهری با آنتن‌های متعدد، اثر Intermodulation یا Cross-Talk بین تجهیزات مجاور به حداقل برسد؛ و در محدوده تابش مستقیم (main lobe) آنتن‌های دیگر قرار نگیرد.

[۳] Macro Interference

[۴] واحدی است برای بیان بهره آنتن نسبت به آنتن ایزوتروپیک یا ideal isotropic radiator.

omoorepeyman.ir

- فاصله ایمن از منابع دیگر تشعشعی را رعایت کند (براساس استاندارد ملی ایران ۸۵۶۷ و ابلاغیه سازمان انرژی اتمی).

در جدول (۱-۷) مزایا و محدودیت‌های سه گروه پیکربندی سیستم DAS غیرفعال با منبع سلول‌های کوچک (B)، سیستم‌های DAS با منبع سلول‌های بزرگ BTS (C1, C2, C3, C4)، و سیستم DAS غیرفعال با منبع بیرونی (A) بیان شده است.

جدول۱-۷- جمع‌بندی کلیات راه‌کارها

پیکربندی	عوامل مقایسه	
	مزایا	محدودیت‌ها
سیستم **DAS** غیرفعال با منبع سلول‌های کوچک (**B**)	پوشش خوب، کیفیت بالا، ظرفیت بالا	هزینه بالا، وابستگی به اینترانت ملی، عدم دسترسی همه اپراتورها
سیستم **DAS** با منبع سلول‌های بزرگ **BTS**، **(C1, C2, C3 & C4)**	پوشش گسترده، پشتیبانی از چندین اپراتور، کیفیت پایدار	هزینه اولیه بالا، نیاز به طراحی دقیق، نیاز به فضا و زیرساخت
سیستم **DAS** غیرفعال با منبع بیرونی **(A)**	هزینه پایین، نصب ساده	افزایش نویز، تداخل، وابستگی به سیگنال خارجی

۱-۹- فرآیند انجام کار

این بخش نقش کلیدی در اجرای موفق راه‌کارهای IBS دارد. هدف اصلی این است که مراحل طراحی، نصب، آزمون، بهره‌برداری و نگه‌داری به‌صورت دقیق و قابل پیگیری، مشخص شود. این فرآیند شامل موارد زیر می‌شود:

- شناسایی نیازها و ارزیابی اولیه؛
- بررسی محیطی پارامترهای شبکه رادیویی و اندازه‌گیری سطح و کیفیت سیگنال شبکه ارتباطی اپراتور؛
- انتخاب راه‌کار مناسب مطابق جدول (۱-۳)؛
- طراحی فنی و برنامه‌ریزی شبکه رادیویی؛
- تامین تجهیزات؛
- نصب و راه‌اندازی؛
- کنترل نهایی، ارزیابی عملکرد و تحویل؛
- نگهداری و به‌روزرسانی دوره‌ای.

۱-۹-۱- شناسایی نیازها و ارزیابی اولیه

در این مرحله، تحلیل فنی از وضعیت موجود و نیازهای اولیه بهره‌بردار صورت می‌گیرد که شامل موارد زیر است:

- نوع ساختمان: ساختمان بلند مرتبه، زیرزمینی، مجموعه تجاری، درمانی، فرودگاهی، مترو و غیره؛
- نوع کاربران: تعداد کاربری هم‌زمان و نوع سرویس مبتنی بر فناوری (2G، 3G، 4G، 5G، ...)؛
- نوع خدمات مورد نیاز: صوت، داده، اینترنت اشیاء (IoT)، خدمات اضطراری و غیره؛

این مرحله مبنای تمام تصمیمات بعدی است.

omoorepeyman.ir

۱-۹-۲- بررسی محیطی پارامترهای شبکه رادیویی و اندازه‌گیری سطح و کیفیت سیگنال شبکه ارتباطی اپراتور

این مرحله برای محاسبه و شبیه‌سازی در ساختمان‌های درحال طراحی، یا ارزیابی واقعی وضعیت سیگنال در محیط داخل ساختمان، با ابزارهای سنجش حرفه‌ای و روش نمونه‌برداری استاندارد، انجام می‌شود. خروجی این مرحله مبنای تصمیم‌گیری فنی درباره نوع راه‌کار، ظرفیت‌سنجی و جانمایی تجهیزات است. در ادامه موارد اصلی قابل اندازه‌گیری و مقادیر پیشنهادی آن‌ها برای هر نسل شبکه، بیان شده است.

علاوه بر سنجش سیگنال درون‌ساختمانی، ارزیابی سطح و کیفیت سیگنال برون ساختمانی نیز انجام می‌شود تا مبنای انتخاب نوع تقویت‌کننده و نقاط ورود سیگنال، تعیین شود. در صورت ضعف پوشش بیرونی، استفاده از راه‌کارهای تقویت‌کننده مناسب (مانند تقویت‌کننده یا آنتن خارجی) در طراحی لحاظ می‌شود.

۱-۹-۲-۱- پارامترهای پایه برای تمامی نسل‌ها

در تمامی فناوری‌ها ابتدا باید RxLevel[۱] اندازه‌گیری شود تا سطح قدرت سیگنال مشخص شود. مقادیر پیشنهادی این پارامتر در فضای داخلی در جدول (۱-۸) آمده است اما حداقل الزام قانونی این موارد، مقادیر مندرج در مصوبه ۲۸۳ است.

جدول۱-۸- مقادیر سطح قدرت سیگنال

فناوری	پارامتر قدرت سیگنال	حد تقریبی قابل قبول در طراحی	توضیح
2G (GSM)	RxLevel	حداقل ۸۵dBm-	حفظ کیفیت تماس و جلوگیری از Drop
3G (UMTS)	RSCP[۲]	حداقل ۹۰ dBm-	پوشش قابل قبول برای Voice و Data
4G (LTE)	RSRP[۳]	حداقل ۹۵ dBm-	پایداری سرویس Data و VoLTE
5G (NR)	SS-RSRP[۴]	حداقل ۹۰ dBm-	پایداری پیوند و سرویس‌های پیشرفته

۱-۹-۲-۲- شاخص‌های تکمیلی کیفیت

مقادیر پیشنهادی حداقل پارامترهای کیفیت در فضای داخلی در جدول (۱-۹) آمده است.

---

[۱] شاخص اندازه‌گیری قدرت سیگنال دریافتی توسط گیرنده (مثل گوشی یا دستگاه آزمون) است که معمولاً در شبکهٔ GSM استفاده می‌شود و بر حسب dBm بیان می‌شود.

[۲] توان سیگنال دریافتی پس از پردازش کد WCDMA یا Received Signal Code Power، در شبکه 3G بوده و بیانگر قدرت مؤثر سیگنال پس از جدا شدن از نویز و سیگنال‌های دیگر است.

[۳] قدرت سیگنال مرجع دریافتی یا Reference Signal Received Power در شبکه‌های 4G.

[۴] توان دریافتی سیگنال مرجع هم‌زمان‌سازی یا Synchronization Signal Reference Signal Received Power در شبکه‌های موبایل 5G.

omoorepeyman.ir

جدول۱-۹- پارامترهای کیفیت پیوند

فناوری	پارامتر سنجش کیفیت	حد قابل قبول	توضیح
2G (GSM)	RxQual[۱]	حداکثر ۳	وابسته به نرخ Bit Error
3G (UMTS)	Ec/No[۲]	حداقل ۱۰- dB	تاثیر مستقیم بر ظرفیت کانال
4G (LTE)	SINR[۳]	حداقل ۵ dB	مشخص‌کننده توان سرویس دیتا
5G (NR)	SS-SINR[۴]	حداقل ۰ dB (این مقدار آستانه اتصال است. برای تضمین کیفیت سرویس باید حداقل ۳ dB باشد.)	مبنای انتخاب Beam[۵] و Modulation[۶]

۱-۹-۳- انتخاب راه‌کار مناسب مطابق جدول (۱-۳)

با توجه به نتایج مرحله قبل، تصمیم‌گیری در مورد نوع راه‌کار مناسب از میان گزینه‌های بند ۱-۷-۳ صورت می‌گیرد، که بر اساس موارد زیر تعیین می‌شود:

- عمق، مقطع و ارتفاع مثبت و منفی ساختمان؛
- درجه اهمیت ساختمان، بر اساس جدول (۱-۴)؛
- متوسط تعداد کاربر.

غیر از الزامات اعلام شده در جدول (۱-۳)، برای انتخاب راه‌کار سطح بالاتر، موارد زیر نیز باید در تصمیم‌گیری بهره‌بردار بررسی شود:

- هزینه اولیه و OPEX؛
- نیاز به چند اپراتور؛
- قابلیت توسعه‌پذیری.

۱-۹-۴- طراحی فنی و برنامه‌ریزی شبکه

در این بند الزامات کلی طراحی سیستم‌های درون‌ساختمانی بیان شده است. این الزامات برای همه راه‌کارهای IBS، معتبر است و زیربندهای فرعی، فقط به موارد استثنا یا پارامترهای خاص هر راه‌کار می‌پردازد. معیارهای پوشش و کیفیت مرجع همواره با مصوبه ۲۸۳ و الزامات این ضابطه هم‌خوان هستند اما پیشنهادات ارایه شده در خصوص مقادیر طراحی درون‌ساختمانی ممکن است در برخی موارد سخت‌گیرانه‌تر از آستانه‌های مصوبه ۲۸۳ باشد که این موارد مغایرت تلقی نمی‌شوند.

---

[۱] شاخص کیفیت سیگنال دریافتی یا Receive Quality، در شبکه موبایل 2G.

[۲] نسبت انرژی سیگنال به نویز یا Energy per Chip to Noise density ratio، در شبکه‌های 3G.

[۳] نسبت توان سیگنال به مجموع توان نویز و تداخل یا Signal to Interference plus Noise Ratio، در شبکه‌های 4G.

[۴] نسبت توان سیگنال هم‌زمان‌سازی به مجموع توان نویز و تداخل یا Synchronization Signal-Signal to Interference plus Noise Ratio، در شبکه‌های موبایل نسل پنجم.

[۵] پرتو جهت‌دار حاصل از Beamforming در شبکه 5G NR که کاربر بر اساس SS-SINR آن انتخاب می‌کند.

[۶] مودولاسیون، شیوه‌ای است که سیگنال رادیویی برای انتقال داده تغییر شکل داده می‌شود، یعنی اطلاعات (صوت، دیتا، تصویر) روی موج حامل RF سوار می‌شود تا بتواند از طریق آنتن‌ها و سیستم DAS درون‌ساختمانی، منتقل شود.

omoorepeyman.ir

۱-۹-۴-۱- محدوده پوشش

تامین پوشش رادیویی درون‌ساختمانی باید به‌گونه‌ای تعریف و پیاده‌سازی شود که خدمات پایه شامل تماس صوتی و پیامک در نسل دوم در فضاهای عمومی اصلی با تردد بالا مانند لابی‌ها، راهروها، کابین آسانسور، پارکینگ‌ها، اتاق‌های تجهیزات، پله‌های اضطراری، ایستگاه‌های زیرزمینی[۱]، کلیه فضاهای عمومی، ورودی‌های اصلی، راهروهای اصلی، سالن‌های اجتماعات، اتاق‌های کنفرانس، فضاهای انتظار و پاگردهای پله، فراهم شود. فضاهای غیرعمومی و محصور نظیر رایزرهای تاسیسات از شمول این الزام خارج هستند.

محدودیت‌ها بر اساس الزامات ذکر شده در مصوبه ۲۸۳ تعیین شده است. بدیهی است چنانچه در آینده مصوبات دیگری در این خصوص تدوین شود، رعایت آن‌ها در این ضابطه اجباری است. به عنوان نمونه، آستانه RxLevel بیشتر یا مساوی dBm ۸۵- با تحقق معیار پوشش در ۹۷٪ نمونه‌ها در محیط شهری، ملاک حداقل سرویس پایه در مصوبه ۲۸۳ است. هر گونه مقدار جایگزین که با این مصوبه در تضاد باشد قابل اعمال نیست.

الزام پوشش کامل در کابین‌ها و لابی‌های آسانسور برای سامانه‌های ارتباطی اضطراری (ERCES[۲]) که مطابق بند ۱۸،۴،۳،۲،۱ استاندارد NFPA 1225 مطرح شده است، همپوشانی با الزامات این ضابطه ندارد.

اپراتور در زمان طراحی IBS، باید در ساختمان‌های در حال طراحی، با توجه به نوع سازه و نما، محاسبه و شبیه‌سازی اولیه پوشش را انجام دهد. در ساختمان‌های ساخته‌شده یا نیمه‌کاره، ارزیابی پوشش پس از تکمیل نما و سازه و از طریق نمونه‌گیری میدانی صورت می‌گیرد. این نمونه‌گیری‌ها باید مطابق روش‌ها و درصدهای ذکرشده در مصوبه ۲۸۳ انجام شود.

طراحی سیستم DAS باید به نحوی انجام شود که پوشش غالب در مکان‌های هدف حاصل شود، حداقل ۹۵٪ نواحی هدف پوشش داشته باشد، مقادیر تلفات بازگشتی[۳] و سطوح سیگنال ثبت شود و هماهنگی لازم در زمان راه‌اندازی انجام پذیرد. این توصیه‌ها جایگزین الزامات قانونی مصوبه ۲۸۳ نیست.

۱-۹-۴-۲- معماری حداقلی بر اساس نوع ساختمان

انتخاب معماری سیستم DAS یکی از اولین و مهم‌ترین تصمیمات در فرآیند طراحی است. به غیر از موارد گفته شده در جدول (۱-۳) این ضابطه، این انتخاب به پارامترهای کلیدی دیگری از جمله تراکم کاربران مورد انتظار و نیازمندی‌های خاص سرویس، وابسته است. راه‌حل‌های نهایی باید توسط تیم فنی اپراتور و بر اساس ارزیابی دقیق شرایط اجرا و الزامات مصوبه ۲۸۳ تایید شود.

برای ساختمان‌های مشمول گروه ۵ جدول (۱-۴)، معماری SISO[۴] کفایت می‌کند. برای مراکز اداری، تجاری و بیمارستانی، پیشنهاد می‌شود حداقل MIMO ۲×۲ در نظر گرفته شود. در هر صورت باید شاخص‌های مصوبه ۲۸۳ رعایت شود. نمونه‌هایی در جدول (۱-۱۰) بیان شده است.

---

[۱] مواردی مانند اتاق تجهیزات DAS، پایه رایزر شبکه ارتباطات در زیرزمین، سکوی فنی زیرزمینی و راهرو دسترسی اضطراری زیرزمینی را شامل می‌شود.

[۲] سامانه‌های تقویت و تضمین ارتباط بی‌سیم یا Emergency Responder Communication Enhancement Systems، برای نیروهای امدادی و آتش‌نشانی در داخل ساختمان.

[۳] Return Loss

[۴] مخفف Single Input, Single Output است. یعنی هر کانال فرکانسی از طریق یک آنتن فرستنده و یک آنتن گیرنده منتقل می‌شود. در شبکه‌های موبایل 2G/3G معمولاً همین روش استفاده می‌شد. مزیت آن شامل طراحی ساده، هزینه کمتر، مصرف توان پایین و محدودیت آن شامل ظرفیت پایین‌تر و نرخ داده محدود است (چون داده فقط در یک مسیر ارسال می‌شود).

omoorepeyman.ir

جدول۱-۱۰- راهنمای اولیه طراحی سیستم بر اساس نوع ساختمان

ردیف	نوع ساختمان	توصیف و ویژگی‌های کلیدی	حداقل راه‌حل پیشنهادی	ملاحظات خاص
۱	اداری و تجاری	ساختمان‌های اداری، برج‌های تجاری. تراکم کاربری متوسط، تمرکز بر پوشش یکنواخت در اتاق‌ها و سالن‌ها	SISO یا MIMO ۲×۲ (برای پشتیبانی از ظرفیت بالاتر)	بهتر است راه‌حل نهایی امکان ارتقا به MIMO را برای پشتیبانی از فناوری‌های آینده، دارا باشد.
۲	هتل‌ها	شامل اتاق‌ها، سالن‌های اجتماعات و رستوران، نیاز به پوشش در فضاهای بسته و نیمه‌باز	SISO	در سالن‌های بزرگ و لابی، توصیه می‌شود از آنتن‌های جهت‌دار برای جلوگیری از نشت سیگنال به بیرون استفاده شود.
۳	پارکینگ‌های چندطبقه	فضای بزرگ و باز با موانع کم. نیاز به پوشش گسترده و نفوذ سیگنال داخل خودروها	SISO با آنتن‌های همه جهته (Omni)	تجهیزات باید در برابر دما، رطوبت و گرد و غبار مقاوم باشد.
۴	مراکز درمانی (بیمارستان‌ها)	فضاهای بسیار حساس با نیاز به قابلیت اطمینان بسیار بالا؛ وجود مناطق با الزامات خاص EMI[1]	MIMO ۲×۲	هرگونه نصب تجهیزات فعال یا غیرفعال در بخش‌های حساس (مانند ICU) نیاز به آزمون‌های میدانی دارد.
۵	مراکز خرید	فضای بسیار بزرگ و باز، با تراکم کاربری بسیار بالا و متغیر، نیاز به ظرفیت بالا	MIMO ۴×۴	طراحی بر اساس حداکثر تراکم جمعیت در روزهای پیک انجام شود.
۶	استادیوم‌ها و سالن‌های ورزشی	فضای عظیم روباز یا سربسته با تراکم بالای کاربری در زمان رویداد	MIMO ۴×۴ یا شبکه‌های متمرکز	طراحی سیستم توانایی مدیریت بار ترافیکی بسیار سنگین را در بازه‌های زمانی کوتاه داشته باشد.

مراجع این جدول عبارت است از:

3GPP TS 38.901 (5G NR channel models),
3GPP TR 36.873 (Study on 3D channel model for LTE),
ITU-T Recommendation K.100,
ETSI TR 103 594,
FCC Report & Order 19-72 / Ofcom In-Building Guidelines (2022),

در ساختمان‌های بلندمرتبه، وجود طبقات متعدد، فضاهای داخلی گسترده و چگالی بالای کاربران، احتمال بروز مشکلات تداخل با سیستم‌های داخلی و افزایش توان تشعشعی را، افزایش می‌دهد. بنابراین، اپراتور ضمن بررسی دقیق محیط شبکه رادیویی، تعیین موقعیت مناسب آنتن‌ها و انجام آزمون دوره‌ای EMC[2]/EMF[3]، مسئول رعایت دستورالعمل‌های مرتبط قبل از نصب بوده تا از مشکلات مذکور جلوگیری شود.

در ساختمان‌هایی که سرویس‌های پرسرعت نسل چهارم و نسل پنجم به‌کار گرفته می‌شود، استفاده از MIMO 4×4 یا بالاتر، متناسب با نیاز ظرفیت، پیشنهاد می‌شود.

در تمام موارد فوق، اپراتور مسئول انتخاب ساختار SISO یا MIMO بوده و باید آن‌را به‌صورت مستند در طراحی اولیه ثبت و در گزارش امکان‌سنجی شبکه رادیویی ارایه کند.

[1] تداخل الکترومغناطیسی یا Electromagnetic Interference، به نویز یا آشفتگی که در اثر انتشار یا دریافت ناخواسته انرژی الکترومغناطیسی ایجاد می‌شود، اشاره دارد و می‌تواند عملکرد تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی را مختل کند.

[2] سازگاری الکترومغناطیسی یا Electromagnetic Compatibility؛ توانایی یک دستگاه یا سیستم الکترونیکی برای کارکرد صحیح در محیط الکترومغناطیسی، بدون ایجاد تداخل برای سایر تجهیزات، و بدون تأثیرپذیری نامطلوب از آن‌ها. به عبارتی دستگاه نویز و تشعشع اضافی تولید نکند و در برابر نویز و تشعشع محیط مقاوم باشد.

[3] میدان الکترومغناطیسی یا Electromagnetic Field، ناحیه‌ای فیزیکی است که توسط بارهای الکتریکی متحرک ایجاد می‌شود و ترکیبی از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را در فضا و زمان نشان می‌دهد.

omoorepeyman.ir

۱-۹-۴-۳- ملاحظات طراحی انواع ساختمان‌های خاص

برخی از ساختمان‌ها به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد معماری، کاربری خاص، تراکم بسیار بالا یا الزامات امنیتی و ایمنی، نیازمند ملاحظات طراحی ویژه در سیستم توزیع سیگنال هستند. این ملاحظات فراتر از راهنمای عمومی طراحی بوده و باید برای دست‌یابی به پوشش و ظرفیت بهینه در این محیط‌ها، رعایت شود. این بخش به بیان این ملاحظات برای متداول‌ترین انواع ساختمان‌های خاص می‌پردازد.

ملاحظات طراحی برای انواع ساختمان‌های خاص در جدول (۱-۱۱) ارایه شده است.

۱-۹-۴-۴- طراحی چند اپراتوری

در صورت نیاز به سرویس چند اپراتوری، فناوری MNC[۱] می‌تواند در سیستم‌های DAS فعال و دیجیتال به‌کار رود. MNC سیگنال چند اپراتور را هم‌زمان دریافت، تفکیک و ترکیب کرده و از طریق یک مسیر مشترک به RRU منتقل می‌کند. این تجهیز با تشخیص شناسه‌های PLMN[۲] هر اپراتور، مسیرها را جداگانه پردازش کرده و خروجی تجمیع‌شده را بدون افت کیفیت ارایه می‌دهد؛ بنابراین یک RRU می‌تواند سیگنال ارتباطی چند اپراتور را روی یک پهن‌باند[۳] فرکانسی پخش کند. شکل (۱-۶) به‌صورت شماتیک عملکرد این تجهیز را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۶- دیاگرام پیکربندی MNC[۴]

---

[۱] ترکیب‌کننده چندشبکه‌ای یا Multi-Network Combiner.

[۲] Public Land Mobile Network

[۳] Wideband

[۴] توضیح اینکه پورت یا پورت‌های بدون استفاده، برای جلوگیری از انعکاس توان و ایجاد موج برگشتی، باید توسط بار تطبیقی ۵۰ اهم، مسدود شود. همچنین اپراتورها با رنگ‌های مختلف نمایش داده شده و اپراتورهای مختلف در بخش‌های خروجی، با توان‌های مورد نیاز بصورت نمونه نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir

جدول۱-۱۱- ملاحظات پیشنهادی در طراحی ساختمان‌های خاص

ردیف	نوع ساختمان	چالش‌های کلیدی	ملاحظات طراحی	ملاحظات خاص
۱	تونل‌ها و مترو	- مسیر طولانی و خطی - وجود انحنای مسیر تونل که باعث تضعیف سیگنال می‌شود. - الزامات ایمنی بسیار بالا - وجود واگن‌های فلزی	- استفاده از سیستم توزیع سیگنال مبتنی بر کابل تشعشعی یا نشت‌دهنده[۱]، و یا آنتن‌های جهت‌دار. - نصب تقویت‌کننده‌ها در فواصل منظم برای جبران تلفات (در صورت نیاز) - طراحی برای پشتیبانی از سرویس‌های اضطراری (PSNET[۲]) و کنترل قطار	- طراحی سیستم بر اساس نیاز بهره‌بردار با قابلیت افزونگی بالا انجام شده تا از قطع شدن سرویس در مواقع اضطراری جلوگیری کند. - اپراتور مسئولیت طرح و نظارت بر آزمون‌های عملکردی و ایمنی را بر عهده دارد.
۲	فرودگاه‌ها	- فضای بسیار وسیع و باز - وجود مناطق مختلف (ترمینال، تاکسی‌وی، باند پرواز) - نیاز به پوشش یکنواخت و ظرفیت بسیار بالا - حساسیت بالا به تداخل	- طراحی سلولی با استفاده از سیستم DAS و سلول‌های کوچک برای پوشش نواحی شلوغ - استفاده از سیستم‌های چند اپراتور برای بهینه‌سازی هزینه و فضا - تمرکز بر پوشش نواحی انتظار، گیت‌ها و محل تحویل بار	- طراحی باید مطابق با استانداردهای امنیتی و پروازی سازمان هواپیمایی کشوری باشد. - هماهنگی و تایید نهایی طرح با واحد امنیت فرودگاه، توسط تیم فنی اپراتور انجام می‌شود.
۳	استادیوم‌ها و سالن‌های بزرگ	- تراکم کاربری خیلی بالا در زمان رویداد - بار ترافیکی بسیار سنگین در بازه‌های کوتاه - معماری دایره‌ای و وجود موانع زیاد	- استفاده از سیستم DAS با سلول‌های فوق متراکم[۳] - طراحی اختصاصی برای جایگاه‌های تماشاگران، راهروها، رستوران‌ها و فضای بیرون. - پیش‌بینی ظرفیت برای ارسال ویدئوهای با حجم بالا (پخش زنده تصویری)	سیستم باید قادر باشد به‌صورت خودکار و متناسب با میزان تراکم جمعیت، ظرفیت خود را افزایش یا کاهش دهد. اپراتور باید بتواند پیش از راه‌اندازی رسمی، آزمون کامل بار را برای ارزیابی عملکرد و ظرفیت سیستم انجام دهد.
۴	بیمارستان‌ها و مراکز درمانی خاص	- وجود مناطق با حساسیت الکترومغناطیسی بالا (اتاق عمل، ICU) - الزامات بهداشتی و ضد عفونی - محدودیت در نصب تجهیزات	- طراحی مبتنی بر فیبرنوری برای کاهش تابش امواج الکترومغناطیس. - نصب آنتن‌ها در راهروها و پوشش غیرمستقیم اتاق‌ها - پوشش مکان‌های خاص مانند مکان‌های پر تردد و پارکینگ	- هرگونه نصب تجهیزات در مناطق حساس مستلزم اخذ مجوز از مراجع فنی بیمارستان است. - طراحی باید از تداخل با تجهیزات پزشکی حیاتی جلوگیری کند.
۵	مراکزداده	- وجود رک‌های فلزی متراکم - تولید گرمای بالا - نیاز به دسترسی دائمی و بالا - حساسیت به نویز الکترومغناطیسی	- طراحی بسیار متمرکز با استفاده از آنتن‌های نقطه‌ای[۴] در راهروهای سرد و گرم - جلوگیری از نصب هر تجهیزات تابش‌کننده امواج رادیویی در نزدیکی رک‌های حساس به نویز الکترومغناطیسی - اولویت دهی به پوشش برای مکان‌های نظارتی و خروجی‌های اضطراری	- طراحی باید با استانداردهای مرکزداده هماهنگ باشد. - نصب پس از تایید مراجع فنی مرکزداده مجاز است.

[۱] Leaky Feeder or Radiating Coax Cable

[۲] مخفف Public Safety Network بوده و به شبکه‌ای اشاره دارد که برای پشتیبانی از ارتباطات حیاتی در شرایط اضطراری طراحی شده است. مانند ارتباط بین نیروهای امدادی، آتش‌نشانی، پلیس، و همچنین سیستم‌های کنترل قطار در تونل‌ها یا ایستگاه‌های زیرزمینی.

[۳] یا Hyper-dense، در معماری‌های IBS برای فضاهای فوق‌متراکم مانند استادیوم‌ها، طراحی به‌صورت سلول‌های کوچک و متعدد انجام می‌شود تا هر بخش از سکوها، جایگاه‌ها و راهروها، بار ترافیکی محدود و کنترل‌پذیری داشته باشند.

[۴] Point Antennas

omoorepeyman.ir

جدول۱-۱۱-ادامه- ملاحظات پیشنهادی در طراحی ساختمان های خاص

ردیف	نوع ساختمان	چالش‌های کلیدی	ملاحظات طراحی	ملاحظات خاص
۶	مراکز تجاری بزرگ	- مساحت بسیار بزرگ با معماری پیچیده - وجود تعداد زیادی مغازه و رستوران - تغییر شدید تراکم جمعیت در ساعات مختلف - چالش زیبایی‌شناسی و مخفی کردن آنتن‌ها	- طراحی ترکیبی: استفاده از سیستم DAS برای فضاهای عمومی و سلول کوچک برای مغازه‌های خاص - استفاده از آنتن‌های Omni در فضاهای باز مرکزی و آنتن‌های جهت‌دار در راهروهای باریک - ادغام آنتن‌ها در دکوراسیون و عناصر معماری (مانند گلدان‌ها، نورپردازی)	- تجهیزات در معرض دید، به جهت هماهنگی با معماری محیط، به هماهنگی با بهره‌بردار نیاز دارد.
۷	ساختمان‌های حساس و حیاتی	تضعیف شدید ورود سیگنال به‌دلیل احتمال استفاده از مصالح خاص، نیاز به پایداری بسیار بالا، حساسیت به تداخل، الزام پوشش کامل سرویس‌های اضطراری.	- توصیه به استفاده از سیستم DAS فعال، - منبع سیگنال چند اپراتوری با پشتیبانی پایداری بالا، - طراحی با حداقل نقطه‌ضعف، - ورودی فیبرنوری از دو مسیر و تغذیه برق پشتیبان.	- پوشش مطلق فضاهای حساس، - جداسازی ترافیک اضطراری، - سخت‌گیری در آزمون ایمنی پرتو، - احراز عملکرد در سناریوهای بحران.

جداول (۱-۱۰) و (۱-۱۱) تنها یک راهنمای اولیه هستند. انتخاب نهایی معماری سیستم و جزئیات فنی آن باید بر اساس محاسبات دقیق پیش‌بینی ترافیک[۱] و شبیه‌سازی‌های رادیویی، انجام شود.

۱-۹-۴-۵- اتاق تجهیزات

اتاق تجهیزات باید به گونه‌ای طراحی شود که ظرفیت نصب، تهویه و نگهداری تمامی اجزای IBS را تامین کند. فضای کافی برای رک، تجهیزات فعال و غیرفعال، مسیر ورود و خروج کابل‌ها و دسترسی سرویس باید در نظر گرفته شود. شرایط محیطی شامل دما و رطوبت کنترل‌شده، تهویه مناسب و جلوگیری از تماس آب و بخار باید رعایت شود. پایداری سرویس برق اختصاصی، ارتینگ مناسب و UPS، باید بر اساس بند ۱-۹-۴-۸ این ضابطه فراهم شود. مسیرهای کابل‌کشی باید با سینی و داکت استاندارد اجرا شود و برچسب‌گذاری کامل انجام گیرد. دسترسی به اتاق تجهیزات باید دارای محدودیت باشد.

۱-۹-۴-۶- ملاحظات محیطی در جانمایی تجهیزات

در هنگام طراحی شبکه IBS و انتخاب محل نصب واحدهای توزیع سیگنال، باید شرایط محیطی محل نصب از حیث دما، رطوبت، تهویه، دسترسی تعمیراتی، فاصله از منابع گرمایشی (مانند کانال‌های هوای گرم)، و جلوگیری از تجمع گردوغبار، به‌صورت دقیق بررسی شود. برای تجهیزات سیستم DAS فعال، افزایش دما می‌تواند باعث کاهش توان خروجی، افت SNR[۲] و کاهش سطح پوشش شود؛ بنابراین محل جانمایی باید بر اساس دستورالعمل سازنده تجهیزات و شرایط ساختمان تعیین و در نقشه‌های نهایی، ثبت شود.

---

[۱] Traffic Forecasting

[۲] نسبت سیگنال به نویز یا Signal to Noise Ratio که نسبت توان سیگنال مفید به توان نویز در یک کانال ارتباطی است. SNR نشان می‌دهد که قدرت سیگنال دریافتی نسبت به نویز زمینه (background noise) چقدر است. SNR در اندازه‌گیری‌های پایه مثلاً آزمون پیوند فیبر، یا کابل RF، شاخص خام کیفیت سیگنال در محیطی که فقط نویز بدون تداخل وجود دارد، و معیار اولیه در طراحی تجهیزات RF و انتخاب آنتن یا تقویت‌کننده، کاربرد دارد.

omoorepeyman.ir

مسیر عبور کابل‌های کواکسیال باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که شعاع خمش کابل مطابق با دستورالعمل سازنده باشد. هم‌چنین باید از کابل‌های تاسیسات برقی فاصله داشته باشد و در مجاورت منابع ایجاد تداخل EMI قرار نگیرد. این موارد باید در اسناد طراحی و نقشه‌های جانمایی منعکس شده و در فاز اجرای کار نیز مورد کنترل قرار گیرد.

۱-۹-۴-۷- ایمنی پرتو

محاسبات ایمنی امواج رادیویی باید بر اساس ابلاغیه‌های سازمان انرژی اتمی ایران، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، اداره کل حفاظت در برابر اشعه (NRPD-AEOI) انجام و گزارش آن در مستند تحویلی درج شود.

۱-۹-۴-۸- منابع برق

۱-۹-۴-۸-۱- منبع تغذیه برق برای سیستم‌های IBS/DAS

منبع تغذیه کلیه تجهیزات مرتبط با IBS/DAS باید بر اساس الزامات مطرح شده در جلد اول ضابطه ۱۱۰، به‌صورت عادی یا اضطراری (با توجه به اعلام نیاز بهره‌بردار) طراحی و اجرا شود.

۱-۹-۴-۸-۲- نوع و ظرفیت منبع تغذیه

تجهیزات می‌توانند با جریان متناوب (AC) یا جریان مستقیم (DC) تغذیه شوند. نوع و ظرفیت تغذیه باید بر اساس مشخصات فنی ارایه‌شده توسط سازنده تجهیزات و نیاز راه‌کار IBS، انتخاب شود.

۱-۹-۴-۸-۳- پایداری برق با استفاده از UPS

طراحی سیستم پشتیبان با استفاده از UPS باید بر اساس اعلام نیاز بهره‌بردار انجام شود. در ساختمان‌هایی که مجهز به ژنراتور برق اضطراری هستند، UPS صرفا مدت‌زمان لازم تا راه‌اندازی ژنراتور (معمولا حدود نیم‌ساعت) را پوشش دهد. مدت دقیق پشتیبانی توسط بهره‌بردار تعیین شده و در قرارداد درج می‌شود.
ظرفیت UPS بر اساس مجموع بار مصرفی کلیه واحدهای RRU، BBU، تجهیزات تغذیه و تهویه، محاسبه می‌شود.

۱-۹-۴-۸-۴- کابل‌کشی و رایزرها

کابل‌کشی برق می‌تواند در رایزر اختصاصی یا مشترک انجام شود. مسیر رایزر توسط بهره‌بردار تعیین می‌شود و حداقل فضای موردنیاز باید توسط تیم فنی اپراتور بر اساس نوع راه‌کار تعیین شود. به‌منظور کاهش EMI، باید حداقل فاصله بین کابل‌های برق و فیدر بر اساس شرایط محل و مطابق با جلد اول ضابطه ۱۱۰ باشد.

۱-۹-۴-۸-۵- ایمنی و حفاظت

طراحی سیستم تغذیه باید شامل حفاظت در برابر اضافه‌جریان، اتصال کوتاه و اتصال زمین مجزا برای تجهیزات رادیویی باشد. رعایت الزامات مندرج در ضابطه ۱۱۰ الزامی است.

۱-۹-۵- تامین تجهیزات

- تعیین فهرست نهایی تجهیزات مورد نیاز از قبیل:

omoorepeyman.ir

- o آنتن‌ها،
- o تقویت‌کننده‌ها،
- o اجزای سیستمDAS؛
- تامین تجهیزات فهرست شده از مبادی قانونی؛
- بررسی وجود گواهی تایید نمونه از سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی؛
- بررسی وجود گواهی‌های استاندارد از قبیل: استاندارد ملی ۸۵۶۷، ETSI EN 303 609.

۱-۹-۶- نصب و راه‌اندازی

۱-۹-۶-۱- دسترسی ایمن

اپراتور باید قبل از ورود تیم اجرایی، برنامه دسترسی ایمن به ساختمان را با بهره‌بردار هماهنگ کرده و سوابق مرتبط را در فرم‌های ایمنی ثبت کند. به عنوان مثال در یک بیمارستان درحال کار، دسترسی به اتاق تجهیزات باید در ساعات تعیین شده و با تایید مدیر بیمارستان، انجام شود.

۱-۹-۶-۲- کابل‌کشی

کابل‌کشی باید بر اساس ضابطه ۱۱۰ سازمان برنامه و بودجه و هم‌چنین دستورالعمل سازنده انجام شود.

- شعاع خمش کابل‌های کواکسیال و فیبرنوری نباید کمتر از ۱۰ برابر قطر خارجی کابل باشد و هم‌چنین بر اساس دستورالعمل سازنده باشد تا از آسیب به هادی و دی‌الکتریک جلوگیری شود.
- کابل‌ها باید از داخل داکت، سینی یا نردبان عبور کنند. با توجه به وزن کابل بستر عبور کابل باید مقاومت لازم را داشته باشد. هم‌چنین توصیه می‌شود در برابر آتش نیز مقاوم باشد.
- کابل‌های اصلی بر اساس نیاز ظرفیت از نوع فیبرنوری OS2 یا OM4 و کابل‌های توزیع از نوع Cat.6A یا فیبرنوری انتخاب شود.
- حداکثر طول پیوندهای Cat.6A باید کمتر یا مساوی ۹۰ متر در نظر گرفته شود.
- بستر اختصاص یافته به کابل‌های اصلی باید حداقل ۲۰٪ ظرفیت رزرو برای توسعه آینده را داشته باشد.
- تمامی کابل‌ها باید منطبق با طرح، برچسب‌گذاری شوند.
- کابل‌ها باید هر ۱/۵متر با بست‌های غیرفلزی مهار شوند تا احتمال ایجاد PIM[1] کاهش یابد و از کشیدگی و فشار مکانیکی نیز جلوگیری شود.

[1] سیگنال‌های ترکیبی ناخواسته ناشی از اتصالات غیرفعال یا Passive Intermodulation ، به پدیده‌ای اطلاق می‌شود که در آن، سیگنال‌های قوی در اثر رفتار غیرخطی اجزای غیرفعال مانند کابل‌ها، کانکتورها، یا آنتن‌ها با یکدیگر ترکیب شده و مولفه‌های فرکانسی ناخواسته ایجاد می‌کنند. این پدیده باعث افزایش نویز زمینه، افت نسبت سیگنال به تداخل و نویز (SINR) و در نتیجه کاهش کیفیت سرویس می‌شود. در طراحی و اجرای سیستم‌های DAS، برای کاهش PIM باید از اتصالات و کانکتورهای با کیفیت بالا استفاده شود، از فلزات مغناطیسی استفاده نشود و حداقل طول جامپرها رعایت شود.

omoorepeyman.ir

- بهتر است کابل‌های فشارضعیف و کابل‌های رادیویی در مسیرها یا داکت‌های جداگانه قرار گیرند و در صورت ناگزیر بودن به انتخاب مسیر مشترک، حداقل ۳۰ سانتی‌متر فاصله رعایت شود.
- کانکتورهایی که در معرض رطوبت یا محیط باز قرار می‌گیرند باید با مواد آب‌بند صنعتی و پوشش‌های پلیمری عایق شوند تا از نفوذ رطوبت، خوردگی و افزایش تلفات جلوگیری شود.
- کابل‌های شبکه رادیویی از نوع کم‌افت[۱] با پوشش FRLS[۲] انتخاب شوند تا هم تلفات سیگنال کنترل شده و هم الزامات ایمنی حریق، رعایت شود.

۱-۹-۶-۳- نصب آنتن‌ها

- محل نصب آنتن باید مطابق طراحی شبکه رادیویی انتخاب شود. به عنوان مثال در یک مرکز خرید، آنتن سقفی معمولا در ارتفاع ۳ تا ۴ متری و با فاصله ۱۵ متر از آنتن بعدی نصب می‌شود. آنتن‌های دیواری عموما به سمت مسیرهای پرتردد (مانند راهرو اصلی) تراز می‌شود.
- آنتن‌ها باید در محل و با زاویه افقی و زاویه عمودی[۳] مشخص شده در طراحی نصب شوند. بر اساس اصول طراحی رادیویی، توصیه شده است که زوایای نصب آنتن‌ها حداکثر ۲± درجه انحراف داشته باشد.
- محل نصب آنتن‌ها باید طوری باشد که در ناحیه نزدیک آنتن[۴]، موانع بالقوه از قبیل هم‌جواری با تاسیسات برقی، تاسیسات فلزی گسترده، یا سایر آنتن‌ها، وجود نداشته باشد.
- پایه‌های نگه‌دارنده آنتن باید مطابق الزامات سازه‌ای مقررات ملی ساختمان و با رعایت دستورالعمل‌های طراحی پشتیبان آنتن (مانند TIA/EIA-222) و مطابق با دستورالعمل اپراتورها، اجرا شود.
- کلیه اتصالات مکانیکی (کانکتورهای کابل هم‌محور) باید بر اساس دستورالعمل سازنده اجرا شوند.

۱-۹-۶-۴- اتصال زمین و هم‌بندی

کلیه تجهیزات فعال و غیرفعال باید به سیستم اتصال زمین عملیاتی متصل و اجزای فلزی (سینی کابل، رک‌ها) به سیستم اتصال زمین ساختمان هم‌بند شوند.

۱-۹-۶-۵- نصب جامپر[۵] و اتصالات برای جلوگیری از PIM

- طول جامپرها باید تا حد ممکن کوتاه باشد تا از تلفات سیگنال و احتمال ایجاد PIM، جلوگیری و هم‌چنین طول اضافی کابل جامپرها نباید به‌صورت حلقه‌ای جمع شود.

---

[۱] Low Loss

[۲] Flame Retardant Low Smoke

[۳] زاویه Azimuth و Tilt.

[۴] Near field

[۵] کابل رابط کوتاه یا RF Jumper.

omoorepeyman.ir

- کلیه اتصالات شبکه رادیویی مانند N-type, DIN باید با آچار تنظیم قدرت اتصال مناسب و مطابق با مقادیر اعلام شده توسط سازنده، محکم شوند. تنظیم قدرت اتصال بیش از حد، یا کمتر از حد مجاز می‌تواند به اتصال آسیب زده یا منبع ایجاد PIM باشد.
- قبل از اتصال هر کانکتور، سطح تماس آن باید از نظر آلودگی، گرد و غبار و آسیب‌های فیزیکی بازرسی شده و در صورت نیاز با هوای فشرده تمیز شود. حتی ذرات بسیار کوچک می‌توانند منبع PIM باشد.
- از پیچاندن یا اعمال فشار غیریکنواخت به جامپرها باید خودداری شود.
- گزارشی از تنظیم قدرت اتصال اعمال شده بر اتصالات حیاتی و نتایج آزمون‌های اولیه مانند VSWR[1] باید در اختیار بهره‌بردار قرار گیرد.

مسئولیت حسن اجرای تمامی الزامات فنی در حین نصب، بر عهده اپراتور است.

۱-۹-۶-۶- مستندسازی نهایی

اپراتور باید نقشه‌های چون‌ساخت[2]، مسیر کابل‌کشی، محل آنتن‌ها و نتایج آزمون را شامل فایل و نسخه چاپی به بهره‌بردار تحویل دهد.

۱-۹-۷- کنترل نهایی، ارزیابی عملکرد و تحویل

اجرای موفق راه‌کارهای IBS نیازمند پیروی از یک فرآیند منظم، استاندارد و دقیق است که تمامی مراحل طراحی، نصب، آزمون و نگه‌داری را شامل شود. این فرآیند، از شناسایی نیازها و ارزیابی محیط شبکه رادیویی شروع می‌شود و با انتخاب صحیح راه‌کار، طراحی فنی، خرید تجهیزات معتبر، نصب حرفه‌ای، آزمون و اعتبارسنجی، تحویل و نگه‌داری دوره‌ای به پایان می‌رسد. هر مرحله از این فرآیند، در کیفیت نهایی خدمات درون‌ساختمانی نقش مهمی دارد و به مشارکت متخصصان مختلف، از جمله مهندسان شبکه رادیویی و تیم فنی اپراتور، نیاز دارد.

در نهایت، مستندسازی صحیح و برنامه‌ریزی برای نگه‌داری دوره‌ای نیز باید به‌عنوان یکی از ستون‌های اصلی این فرآیند مدنظر قرار گیرد. در این مسیر، جزئیات ارایه‌شده در این بند می‌تواند به‌عنوان یک الگوی واحد و قابل استفاده در تمامی راه‌کارهای IBS مورد استفاده قرار گیرد و با توسعه آن برای هر راه‌کار به‌طور جداگانه، ابزاری کارآمد برای برنامه‌ریزی، اجرا و نظارت فراهم کند. این رویکرد نه تنها کیفیت خدمات را بهبود می‌بخشد، بلکه از نظر حقوقی و فنی نیز باعث کاهش ریسک‌های اجرا می‌شود.

۱-۹-۷-۱- مستندات طراحی

کلیه مدارک طراحی مقدماتی و تفصیلی شامل نقشه‌های پوشش، گزارش آزمون‌های فیبرنوری، نقشه مسیرها و جانمایی تجهیزات باید در قالب قابل ویرایش (iBwave، AutoCAD و موارد مشابه) و نیز در فرمت PDF تحویل بهره‌بردار شوند.

---

[1] اندازه‌گیری مقدار بازگشت امواج یا Voltage Standing Wave Ratio، پارامتر کلیدی برای ارزیابی کیفیت تطبیق امپدانسی بین فرستنده، کابل، کانکتور و آنتن است. اندازه‌گیری VSWR با استفاده از روشن‌ساز دستی VSWR / Site Master انجام می‌شود.

[2] As-Built

omoorepeyman.ir

مستندات طراحی باید شامل جداول ظرفیت، برآورد ترافیک، تخصیص منابع فرکانسی و الزامات SINR مطابق مصوبه ۲۸۳ باشند.
در طراحی، فهرست تجهیزات یا BOM[۱] باید ارایه شود. ممکن است بر اساس نیاز، جدول توان تجمیعی[۲] نیز تدوین شود.

۱-۹-۷-۲- الزامات آزمون و تایید فنی

۱-۹-۷-۲-۱- آزمون‌های سیگنال رادیویی

نتایج شاخص Rx-Level، RSRP، RSRQ و SINR باید در بیش از ۹۵٪ محدوده مورد نظر به مقادیر مصوبه ۲۸۳ برسد. فایل‌های TEMS/Scanner به همراه گزارش پردازش‌شده (PDF و نقشه‌های رنگی) تحویل بهره‌بردار شوند.
آزمون‌های تلفات بازگشتی یا RL[۳] و DTF[۴]: باید با حداقل ۲۰۰۰ نقطه داده ثبت شده و خروجی‌ها در فرمت اصلی ابزار و PDF تحویل بهره‌بردار شوند. نمودارها باید دارای خط مرجع مشخصات سازنده باشند. تاریخ و وضعیت کالیبراسیون ابزار نیز در مستندات درج شود. محدودیت‌های توصیه شده در راه‌کارهای IBS به شرح زیر است:

- تلفات بازگشتی هر پیوند (کابل + کانکتور + آنتن):
  - محدوده dB ۱۴-، به عنوان حداقل قابل قبول؛
  - بین dB ۱۴- و dB ۱۶- ، به عنوان وضعیت مناسب؛
  - بین dB ۱۶- و dB ۱۸-، به عنوان وضعیت مطلوب؛
  - کمتر از dB ۱۸-، عالی.
- تلفات بازگشتی برای پیوندهای اصلی (Feeder / Trunk): نباید کمتر از dB ۱۶- باشد.
- تلفات بازگشتی برای پیوندهای نزدیک به RU / RRU / Booster: نباید کمتر از dB ۱۸- باشد.
- عدم پذیرش: هر پیوند با تلفات بازگشتی کمتر از dB ۱۲- باید اصلاح شود.

آزمون تارهای فیبرنوری: آزمون OTDR[۵] و OLTS[۶] برای کلیه پیوندهای نوری درحال‌کار و رزرو، انجام و مستندات تحویل بهره‌بردار شوند. مستندات آزمون کابل‌های مسی Cat.6A، با حداقل آزمون‌های NEXT[۷] و تاخیر[۸] و نتایج آزمون فیبرنوری، مطابق با فصول اول و دوم جلد سوم ضابطه ۱۱۰، ارایه شود.

---

[۱] Bill of Materials

[۲] یا Composite Power Table، جدولی است که توان خروجی نهایی سیستم را پس از ترکیب همه منابع سیگنال (اپراتورها، باندها و تجهیزات تقویتی) نشان می‌دهد. این جدول مشخص می‌کند در هر مسیر یا خروجی DAS چه سطح توان تجمیع‌شده‌ای به آنتن یا RRU می‌رسد و آیا با الزامات طراحی و استانداردهای اپراتورها همخوانی دارد یا خیر.

[۳] تلفات بازگشتی یا Return Loss، هرچه عدد منفی تلفات بازگشتی بزرگتر باشد، بازتاب کمتر و تطبیق امپدانس بهتر است.

[۴] یا Distance To Fault، یکی از آزمون‌های کلیدی در سیستم‌های DAS/IBS محسوب می‌شود. این آزمون با استفاده از دستگاه Site Master یا Cable & Antenna Analyzer انجام می‌شود.

[۵] Optical Time Domain Reflectometer

[۶] یا Optical Line Test Set، به مجموع دو دستگاه Power Meter و Laser Source گفته می‌شود.

[۷] یا Near-end crosstalk loss، افت سیگنال بین یک زوج مختل‌کننده و یک زوج مختل‌شده که در سر نزدیک کابل سنجیده می‌شود.

[۸] تاخیر انتشار یا تاخیر، delay or propagation delay، اختلاف زمانی که سیگنال از یک سر مدار (زوج سیم‌ها) به سر دیگر آن برسد.

omoorepeyman.ir

۱-۹-۷-۲-۲- آزمون PIM

آزمون PIM برای شناسایی و اندازه‌گیری سیگنال‌های ترکیبی ناخواسته غیرفعال در اجزای سیستم‌های رادیویی انجام می‌شود. این نوع تداخل می‌تواند ناشی از نقص در اتصالات، خوردگی، آلودگی یا آسیب‌های فیزیکی در اجزا باشد. این شرایط می‌تواند منجر به پایین آوردن کیفیت سیگنال، کاهش توان عملیاتی شبکه و اختلال در خدمات ارتباطی شود. برای اطمینان از کیفیت نصب و عملکرد بهینه شبکه، باید این آزمون به‌صورت دقیق اجرا شود. معیارهای PIM در باند(های) فرکانسی به‌کار رفته در آزمون دو حامل[۱] و در سطح ۲×۴۳ dBm، باید کمتر یا مساوی ۱۰۰ dBc[۲]- باشد.

۱-۹-۷-۲-۲-۱- روش‌های آزمون PIM

روش‌های اصلی آزمون PIM عبارتند از:

- روش آزمون دو فرکانسی[۳]: در این روش دو سیگنال فرکانس بالا با قدرت مساوی به سیستم DAS تزریق می‌شود و مولفه‌های منابع تشعشع ناخواسته[۴] در فرکانس‌های خاص پس از آنتن اندازه‌گیری می‌شوند.
- روش چند حامل همزمان[۵]: روشی که در آن چند حامل هم‌زمان با توان مشخص به سیستم تزریق می‌شود تا رفتار میان‌مودولاسیون و سطح تداخل در شرایط مشابه بار واقعی شبکه، ارزیابی شود.
- روش سیگنال با فرکانس متغیر یا جارو فرکانسی[۶]: در این روش، به جای دو حامل ثابت، یک حامل ثابت و یک حامل با فرکانس متغیر یا جارو شونده استفاده می‌شود. هدف این است که محدوده وسیعی از فرکانس‌ها پوشش داده شود و رفتار تجهیزات در برابر محصولات PIM در کل طیف بررسی شود. این روش در برخی نسخه‌های استاندارد به‌عنوان آزمون تکمیلی ذکر شده است.
- روش طیف‌سنجی[۷]: با استفاده از دستگاه طیف‌سنج، سیگنال‌های خروجی تحلیل می‌شود تا مولفه‌های اینترمودولاسیون شناسایی شود. در واقع این روش مستقل آزمون نیست بلکه ابزار اندازه‌گیری است. بعد از تزریق سیگنال‌های آزمون (دو فرکانسی)، خروجی روی طیف‌سنج بررسی می‌شود تا محصولات اینترمودولاسیون شناسایی و سطحشان نسبت به dBc اندازه‌گیری شود.

اپراتور باید آزمون را بر اساس یکی از روش‌های فوق، با اولویت روش اول، انجام دهد. انتخاب روش آزمون بر اساس نوع سیستم، حساسیت مورد نیاز و شرایط محیطی انجام می‌شود.

---

[۱] Dual-Tone، در خصوص سطح آزمون و معیار پذیرش و آزمون دوحاملی، استانداردهای IEC 62037-1 تا IEC 62037-5 (۲۰۱۲–۲۰۱۶) مرجع این مقادیر است.

[۲] در مصوبه ۲۸۳ و تصمیم CRA-DEC 5009-01 در خصوص معیار PIM صحبت نمی‌شود. با این حال، بر اساس رویه‌های مهندسی اپراتورها و مشخصات فنی متداول سازندگان تجهیزات غیرفعال شبکه‌های سلولی، معمولاً سطح قابل قبول PIM برای اجزای پسیو برابر یا کمتر از ۱۰۰ dBc- در نظر گرفته می‌شود تا از بروز تداخل میان‌مودولاسیون در شبکه‌های چندفرکانسی جلوگیری شود. تأیید سطح آستانه ۱۰۰ dBc- در شبکه‌های LTE و NR است.

[۳] Dual-Tone Method

[۴] Intermodulation Products، سیگنال‌های حاصل از منابع تشعشع ناخواسته غیرخطی است؛ یعنی همان مؤلفه‌هایی که از ترکیب ناخواسته دو سیگنال اصلی در نقاط غیرخطی به‌وجود می‌آیند.

[۵] Multi -Tone Test

[۶] Swept-Tone

[۷] Spectrum Analyzer Method

omoorepeyman.ir

۱-۹-۷-۲-۲-۲- پارامترهای آزمون و حداقل مقادیرهای قابل قبول

مهم‌ترین پارامترهای آزمون PIM و حداقل مقادیر قابل قبول مطابق با روش آزمون دو فرکانسی در جدول (۱-۱۲) ارایه شده است.

جدول۱-۱۲- پارامترها و مقادیر توصیه شده در آزمون PIM، روش چند حامل همزمان

پارامتر	حداقل قابل قبول	واحد اندازه‌گیری	شرایط آزمون
سطح **PIM**	کمتر یا مساوی ۱۰۰- dBm در ۲×۴۳	dBc	در قدرت خروجی ۴۳ dBm
فرکانس‌های آزمون	۹۰۰ تا ۳۵۰۰	MHz	شامل باندهای GSM، UMTS و LTE
توان سیگنال آزمون	۴۳	dBm	برای هر حامل
پایداری دمایی	± ۲۵	درجه سلسیوس	در طول آزمون
حداکثر افت مجاز	۰,۱	dB	در کابل‌ها و اتصالات

تمامی مقادیر جدول (۱-۱۲) باید در محدوده مشخص شده قرار گیرند. هرگونه انحراف از این مقادیر باید ثبت و توسط تیم فنی اپراتور بررسی و در صورت لزوم اصلاحات لازم انجام شود.

۱-۹-۷-۲-۲-۳- تجهیزات مورد نیاز و کالیبراسیون

تجهیزات مورد استفاده برای آزمون PIM باید شامل موارد زیر باشد:

- مولد دو سیگنال با فرکانس‌های مختلف و توان مشخص شده؛
- طیف‌سنج برای اندازه‌گیری مولفه‌های اینترمودولاسیون؛
- کابل‌ها و اتصالات لازم با کیفیت و عاری از نقص برای جلوگیری از ایجاد PIM؛

کالیبراسیون تجهیزات به‌صورت دوره‌ای و مطابق با استانداردهای بین‌المللی (مانند ISO/IEC 17025) انجام شود. اپراتور مسئولیت دارد تا از کالیبره بودن تجهیزات و صحت نتایج آزمون اطمینان حاصل کند.

۱-۹-۷-۲-۲-۴- گزارش‌دهی و مستندسازی

گزارش آزمون PIM باید شامل موارد زیر باشد:

- تاریخ و زمان اجرای آزمون؛
- مشخصات تجهیزات استفاده شده و تاریخ کالیبراسیون آن‌ها؛
- مقادیر اندازه‌گیری شده برای هر یک از پارامترها؛
- هرگونه مشاهده یا انحراف از مقادیر؛
- تاییدیه نهایی توسط تیم فنی اپراتور.

الگوی گزارش‌دهی مطابق با فرم‌های ارایه شده توسط تیم فنی اپراتور تعیین می‌شود.

omoorepeyman.ir

۱-۹-۷-۲-۲-۵- اقدامات اصلاحی

در صورتی که نتایج آزمون نشان‌دهنده انحراف از مقادیر باشد، اقدامات اصلاحی زیر باید انجام شود:

- بررسی اتصالات، کابل‌ها و سایر اجزا برای شناسایی منبع تداخل؛
- در صورت وجود آلودگی یا آسیب، اجزا باید تمیز یا تعویض شوند.
- پس از انجام اقدامات اصلاحی، آزمون باید تکرار شده تا از رفع مشکل اطمینان حاصل شود.

تمامی اقدامات اصلاحی باید ثبت و توسط تیم فنی اپراتور مستند شود.

۱-۹-۷-۲-۳- آزمون درحال حرکت[۱]

- آزمون درحال حرکت باید مقادیر مصوبه ۲۸۳ را با پوشش بیش از ۹۵٪ محدوده هدف، برآورده کند.
- لاگ‌ها[۲] باید در قالب قابل خواندن و بازبینی، توسط تیم فنی اپراتور تحویل بهره‌بردار شوند.
- نقشه‌های رنگی پوشش باید به همراه فایل‌های اصلی لاگ، ارایه شود.

۱-۹-۷-۲-۴- پایش[۳] و شاخص‌های عملکرد[۴]

کلیه تجهیزات IBS/DAS باید مورد پایش قرار گیرد تا شاخص‌های مورد نیاز مانند مواردی که در زیر آمده، به‌صورت برخط و بلادرنگ قابل مشاهده و ثبت باشد:

- RSRP، RSRQ، SINR و Rx-Qual/Rx-Level؛
- متوسط و حداکثر نرخ انتقال داده؛
- نرخ قطع تماس[۵]؛
- نرخ موفقیت تحویل تماس[۶]؛
- وضعیت منابع تغذیه (ولتاژ/جریان/باتری).

داده‌های پایش‌شده، باید حداقل به مدت شش ماه قابل ذخیره‌سازی و بازیابی باشد. با نظر بهره‌بردار، ممکن است لازم باشد شاخص‌های عملکرد دیگری نیز تعریف شود که به این موارد اضافه خواهد شد.

---

[۱] یا Walk Test، یک روش میدانی برای سنجش کیفیت پوشش رادیویی در مسیرهای قابل تردد درون‌ساختمانی است. در این روش، کارشناس با استفاده از گوشی کالیبره‌شده یا دستگاه آزمون (مانند TEMS، Nemo یا نرم‌افزارهای مشابه) در مسیرهای از پیش تعیین‌شده حرکت می‌کند و شاخص‌هایی مانند RSRP، RSRQ، SINR و Rx-Level، سرعت دانلود و آپلود، تأخیر و وضعیت تحویل مکالمه را ثبت می‌کند.

[۲] گزارش ثبت سوابق رویداد یا Log، در پایش وضعیت شبکه رادیویی و تجهیزات مرتبط با آن.

[۳] Monitoring

[۴] KPI, Key Performance Indicator

[۵] Drop Call Rate (DCR)، به نسبت تعداد تماس‌هایی که به‌صورت ناخواسته و قبل از اتمام طبیعی قطع می‌شوند، به کل تماس‌های برقرارشده در یک بازه زمانی مشخص، گفته می‌شود.

[۶] یا Handover Success Rate، به نسبت تعداد تحویل‌های موفق تماس (Handover) بین سلول‌ها یا آنتن‌های درون‌ساختمانی، به کل تلاش‌های انجام‌شده برای تحویل تماس مشخص، گفته می‌شود.

omoorepeyman.ir

۱-۹-۷-۳- چک‌لیست عملیاتی تحویل

موارد زیر شامل چک‌لیست عملیاتی IBS/DAS درون‌ساختمانی می‌شود. با توجه به شرایط خاص می‌توان موارد کامل‌تر را به آن اضافه کرد:

۱-۹-۷-۳-۱- طراحی

- تحویل نقشه‌های پوشش در فرمت iBwave/AutoCAD و PDF؛
- تکمیل جداول ظرفیت و برآورد ترافیک بر اساس مصوبه ۲۸۳؛
- تحویل BOM نهایی و جدول توان تجمیعی؛
- ارایه فایل‌های اصلی طراحی (.ibw, .dwg).

۱-۹-۷-۳-۲- آزمون و اعتبارسنجی

- انجام آزمون‌های سیگنال رادیویی به روش آزمون درحال حرکت و تحقق بیشتر از ۹۵٪ محدوده به عنوان معیار قبولی؛
- تحویل فایل خام آزمون (TEMS/Scanner) به اضافه گزارش PDF و نقشه رنگی؛
- انجام آزمون تلفات بازگشتی و DTF و تحویل در فرمت اصلی ابزار و PDF؛
- اجرای OTDR و OLTS روی تمام تارهای پیوندها و مقایسه با مقادیر تئوریک؛
- آزمون کابل مسی Cat.6A شامل NEXT و Delay به وسیله تجهیزات آزمون پیوند مانند Fluke؛
- آزمون PIM و ارایه جداول نتایج و عکس ابزار با تاریخ/زمان؛
- اندازه‌گیری کف نویز؛
- ثبت مشخصات تجهیزات آزمون (مدل، سریال، تاریخ کالیبراسیون).

۱-۹-۷-۳-۳- آزمون درحال حرکت

- مطابقت با مقادیر مصوبه ۲۸۳ در ۹۵٪ محدوده هدف؛
- تحویل لاگ‌ها در فرمت قابل بازبینی؛
- ارایه نقشه‌های رنگی پوشش و فایل خام لاگ‌ها.

۱-۹-۸- نگه‌داری و بهینه‌سازی دوره‌ای[1]

راه‌کارهای IBS نیازمند نگه‌داری منظم هستند که شامل موارد زیر می‌شود:

- بررسی و آزمون دوره‌ای؛
- به‌روزرسانی نرم‌افزاری و سخت‌افزاری؛

[1] Maintenance & Optimization

omoorepeyman.ir

- بهینه‌سازی شبکه در صورت تغییرات محیطی یا افزایش تعداد کاربران.

اپراتور باید همزمان با قرارداد اجرا، برای دوره پس از پایان گارانتی تجهیزات، بسته‌ای از قطعات یدکی مصرفی و حیاتی را پیش‌بینی و در قرارداد درج کند. این بسته با هدف تضمین تداوم بهره‌برداری، پس از دوره گارانتی و متناسب با سطح اهمیت ساختمان تعریف می‌شود. هم‌چنین اپراتور باید برنامه نگه‌داری پیش‌گیرانه شامل دوره‌های بازبینی، آزمون مجدد و پایش عملکرد را تدوین و به بهره‌بردار تحویل دهد. مدت‌زمان و سطح پشتیبانی پس از گارانتی، با توافق طرفین و با توجه به شرایط بهره‌برداری ساختمان در قرارداد پشتیبانی و نگه‌داری، مشخص خواهد شد.

۱-۹-۸-۱- جداول پیشنهادی برای گزارش‌دهی

در ادامه، جداولی برای کنترل و انجام آزمون‌ها و گزارش نهایی پوشش، توصیه شده است. بدیهی است این جداول باید متناسب با شرایط اجرا و نظر بهره‌بردار مناسب‌سازی شود.

جدول۱-۱۳- نتایج آزمون در محل‌های مختلف به‌عنوان توصیه

محل	RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SNR	Rx-Level	تفسیر
سالن ورودی	-۷۵	-۹	۲۰	-۶۵	قوی
طبقات زیرزمین	-۹۵	-۱۸	۸	-۸۰	متوسط
سالن جلسات	-۱۰۵	-۲۲	۵	-۹۵	ضعیف
مقادیر به عنوان توصیه بیان شده و مقادیر اصلی در قرارداد ذکر می‌شود.					

جدول۱-۱۴- نمونه‌هایی از آزمون EMC و تداخل با سایر سیستم‌ها

سیستم	نوع تداخل	معیار پذیرش	ابزار / روش آزمون	راه‌کارهای کنترلی
Wi -Fi 5GHz	گسیلش خارج از باند و نویز ناخواسته در باندهای سیار	توان تداخل در باند سیار باید کمتر یا مساوی منفی ۱۰۰ dBm باشد یا نسبت SIR بیشتر یا مساوی dB ۱۵ باشد. برای نسل دوم، افت Rx-Level ناشی از تداخل نباید بیشتر از dB ۳ باشد.	طیف‌سنج فرکانسی به‌همراه آنتن باند مورد نظر	استفاده از فیلتر باند، افزایش ایزولاسیون، رعایت فاصله و جانمایی مناسب آنتن‌ها
MRI (1.5/3T)	کوپلینگ RF و انسداد گیرنده تجهیزات رادیویی	ایزولاسیون RF باید بیشتر یا مساوی dB ۶۰ باشد و در هیچ‌یک از حالات کاری، انسداد گیرنده رخ ندهد. برای 2G تا 5G، تغییر سطح سیگنال دریافتی (Rx-Level / RSRP) نباید موجب افت کیفیت سرویس شود.	آزمون ایزولاسیون، پایش سطح RF محیطی	فاصله‌گذاری فیزیکی، استفاده از آنتن‌های جهت‌دار، مسیر کابل شیلدشده، تعریف محدوده ممنوعه RF
سامانه RFID (HF/UHF)	تداخل هم‌کانالی یا بین‌کانالی با آنتن‌های داخلی	نسبت سیگنال به تداخل سامانه سیار باید بیشتر یا مساوی dB ۱۰ باشد. برای نسل دوم، Rx-Level موبایل باید در محدوده طراحی شبکه باقی بماند و نرخ خوانش RFID بیشتر یا مساوی ۹۵٪ باشد.	آزمون هم‌زیستی، اندازه‌گیری SIR/BLER[1]	جابه‌جایی آنتن، تفکیک طیفی یا مکانی، تنظیم توان خروجی RFID

[1] نرخ خطا در بلوک‌های داده‌ای یا Block Error Rate، نشان می‌دهد چه درصدی از بلوک‌های داده پس از دریافت، دچار خطا شده و نیاز به بازارسال دارند.

omoorepeyman.ir

جدول۱-۱۵- نمونه گزارش نهایی پوشش و کیفیت خدمات

نوع خدمات	کاربران همزمان	معیار توان/e.i.r.p	معیار پوشش	معیار کیفیت/ظرفیت	نتیجه
تماس صوتی (2G/3G/4G)	۵۰۰	e.i.r.p هر آنتن: ۱۸ تا dBm (با ذکر بهره آنتن و افت کابل)	حداقل در ۹۵٪ نقاط: Rx-Level، حداقل dBm ۸۵- یا RSRP حداقل dBm ۹۵-	MOS[1] در ۹۵٪ نمونه‌ها: حداقل ۲/۸، نرخ قطع تماس حداکثر ۲٪	قابل قبول
داده LTE	۱۰۰۰	توان تزریق به هر پورت: ۰ تا ۱۰ dBm (AGC فعال)، پهنای باند ۲۰ MHz	حداقل در ۹۵٪ نقاط: RSRP حداقل dBm ۹۵- و SINR حداقل dB ۵	سرعت دانلود در ۹۰٪ نمونه‌ها: حداقل ۲Mbps، BLER حداقل ۲٪	قابل قبول

۱-۹-۸-۲- آزمون‌های دوره‌ای و بازرسی عملکرد

علاوه بر آزمون اولیه تحویل، باید بررسی‌های دوره‌ای عملکرد سامانه انجام شود تا از حفظ کیفیت سرویس در طول بهره‌برداری اطمینان حاصل شود. به‌طور خلاصه:

- آزمون راه‌اندازی اولیه شامل اندازه‌گیری توان خروجی، تراز سیگنال، SNR و ارزیابی عدم تداخل با شبکه اصلی اپراتور بوده و یک‌بار در زمان تحویل انجام می‌شود.
- آزمون عملکرد دوره‌ای شامل بررسی افت توان، تغییرات سطح RSSI[2]، و کنترل عملکرد پیوندهای شبکه مویرگی است. این آزمون معمولا هر ۶ ماه یک‌بار برای سیستم DAS فعال و میکروسل‌ها و هر ۱۲ ماه یک‌بار برای سیستم DAS غیرفعال و تقویت‌کننده‌ها انجام می‌شود.
- آزمون EMF و ایمنی پرتو مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۸۵۶۷ و ابلاغیه سازمان انرژی اتمی ایران، شامل اندازه‌گیری چگالی توان در نزدیکی آنتن‌ها است و باید به‌صورت سالانه، یا پس از هرگونه تغییر در آرایش آنتن‌ها انجام شود.
- آزمون تداخل بین‌سیستمی در محل‌هایی که چند اپراتور یا چند سیستم DAS فعال هم‌زمان کار می‌کنند، باید در زمان راه‌اندازی و پس از هر تغییر در ساختار یا مسیر سیگنال انجام شود.

نتایج تمامی آزمون‌های فوق، باید در مستند تحویل نهایی[3] ثبت و به اپراتور یا ناظر ارایه شود.

۱-۹-۸-۳- گزارش‌های به‌روزرسانی

این گزارش‌ها شامل نقشه، گزارش آزمون پارامترهای تعیین شده در مصوبه ۲۸۳، آزمون تماس، آزمون EMC/PIM[4]، گزارش تجهیزات و تایید اتصال اپراتور است.

---

[1] کیفیت تماس صوتی یا Mean Opinion Score، یک معیار استاندارد بین‌المللی است که کیفیت تجربه شنیداری تماس‌های صوتی را اندازه‌گیری می‌کند.

[2] شاخص قدرت سیگنال دریافتی یا Received Signal Strength Indicator، عددی است که نشان می‌دهد قدرت سیگنال رادیویی دریافت‌شده توسط دستگاه (مثل موبایل یا مودم) چه میزان است.

[3] Final Acceptance Report

[4] آزمون تداخل منابع تشعشع ناخواسته غیرفعال یا Passive Intermodulation.

omoorepeyman.ir

۱-۱۰- معرفی مقررات

با توجه به ویژگی‌ها و مزایای قابل توجه IBS که در بخش‌های قبلی توضیح داده شده است، جهت جلوگیری از مشکلاتی مانند تداخلات رادیویی، افزایش کف نویز، و نقض قوانین و مقررات رادیویی، باید هر نوع طراحی، نصب و بهره‌برداری از این سیستم‌ها بر اساس استانداردهای فنی و مقررات رگولاتوری انجام شود. در ادامه این مقررات به طور اختصار معرفی شده‌اند.

۱-۱۰-۱- ضوابط و مشخصات سیگنال رادیویی

۱-۱۰-۱-۱- مصوبه جلسه شماره ۲۸۳ مورخ ۱۳۹۷/۷/۲۹ کمیسیون تنظیم مقررات ارتباطات

این مصوبه، شاخص و پارامترهای مربوط به سیگنال رادیویی فناوری‌های ارتباطی تلفن همراه را در ۳ فناوری 2G، 3G و 4G بیان کرده و باید در تامین پوشش درون‌ساختمانی رعایت شود. هدف اصلی، اطمینان از این است که راه‌کارهای اجرایی، حداقل استانداردهای لازم برای کیفیت خدمات صوتی و داده را فراهم کنند.

۱-۱۰-۱-۲- تصمیم CRA-DEC 5009-01

این تصمیم، ضوابط فنی و رگولاتوری استفاده از تقویت‌کننده‌های سیگنال رادیویی شبکه تلفن همراه را تعیین کرده است. بر اساس این تصمیم:

- تجهیزات تقویت‌کننده باید فقط در باندهای فرکانسی مصوب عمل کنند؛
- تقویت در هر دو باند فروسو و فراسو باید یکسان باشد؛
- توان خروجی تجهیزات باید محدود شده باشد:
- در باند فروسو: حداکثر ۰/۱ e.i.r.p W (۲۰ e.i.r.p dBm)؛
- در باند فراسو: حداکثر ۱ e.i.r.p W (۳۰ e.i.r.p dBm).

هم‌چنین، این تصمیم، منع استفاده از تقویت‌کننده‌های یک‌طرفه را به‌عنوان یکی از الزامات فنی مهم، ذکر کرده است. ارایه دهندگان تجهیزات تقویت‌کننده، مسئول هستند حداکثر توان پخش‌زائد را در دو باند فرکانسی کلیدی رعایت کنند:

- در باند ۹ کیلوهرتز تا ۱ گیگاهرتز: ۲۵۰ nW (-۳۶ e.r.p dBm)؛
- در باند ۱ گیگاهرتز تا ۱۲/۷۵ گیگاهرتز: ۱ µW (-۳۰ e.r.p dBm).

۱-۱۰-۱-۳- تصمیم شماره CRA-DEC 5008-04، اردیبهشت ۱۳۹۶ سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی

این مصوبه، طرح فرکانسی باندهای مورد استفاده در بخش دسترسی شبکه‌های ارتباطات عمومی را تعیین می‌کند و چارچوب قانونی بهره‌برداری از باندهای فرکانسی برای فناوری‌های مختلف دسترسی رادیویی را مشخص می‌سازد. در این مصوبه، باندهای مجاز، نوع کاربرد هر باند، فناوری‌های قابل استفاده (مانند GSM، UMTS، LTE و فناوری‌های بعدی)، شرایط تخصیص، محدودیت‌های فنی، و الزامات هم‌زیستی فرکانسی تشریح شده‌است تا از بهره‌برداری بهینه از طیف، جلوگیری از تداخل مضر و تضمین کیفیت خدمات در شبکه‌های عمومی اطمینان حاصل شود. این مصوبه به‌عنوان مرجع اصلی برای طراحی، توسعه و بهره‌برداری شبکه‌های دسترسی رادیویی اپراتورها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

omoorepeyman.ir

۱-۱۰-۱-۴- استاندارد ملی ایران به شماره ۸۵۶۷

این استاندارد، پرتوهای غیر یونساز - حدود پرتوگیری را برای عموم مردم و کارکنان در فضای آزاد تعیین می‌کند. این استاندارد به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین مبنای EMF شناخته می‌شود و الزاماتی را درباره فاصله ایمن از منابع تشعشعی (مانند آنتن‌ها)، حداکثر سطح چگالی توان سیگنال رادیویی و پایش میدان‌های الکترومغناطیسی وضع کرده است. این استاندارد در زمان نصب هرگونه تجهیزات تقویت‌کننده سیگنال موبایل باید رعایت شود.

۱-۱۰-۱-۵- ابلاغیه شماره ۱۶/۰۵/۲۳۵۸۳۶ مورخ ۱۴۰۰/۰۵/۱۹ سازمان انرژی اتمی ایران

این ابلاغیه، حدود چگالی توان سیگنال رادیویی در محیط‌های داخلی را تعیین می‌کند و الزاماتی را برای اندازه‌گیری و کنترل میدان‌های الکترومغناطیسی در فضاهای بسته مطرح می‌کند. این الزامات در کنار استاندارد ملی ایران به شماره ۸۵۶۷، مبنای اصلی برای ارزیابی ایمنی تجهیزات تقویت‌کننده در محیط‌های درون‌ساختمانی است.
این الزامات، به‌منظور جلوگیری از تداخل با دیگر سیستم‌های رادیویی و اطمینان از سلامت الکترومغناطیسی محیط داخلی، باید رعایت شود.

۱-۱۰-۱-۶- جداول پایه آزمون‌ها و استانداردها

برای یکسان‌سازی انجام آزمون‌ها و استاندارد تجهیزات حوزه ICT، سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی اقدام به تدوین جداول پایه آزمون و استانداردهای مربوط به آن کرده است. تجهیزات مورد استفاده در راه‌کارهای IBS در صورتی که تحت پوشش این جداول باشد، باید مطابق با جزئیات ذکر شده در این جداول و استانداردهای آن، مورد آزمون قرار گیرد. در ادامه تیتر برخی از این جداول که شامل تجهیزات راه‌کارهای IBS می‌شود آمده است:

- جدول پایه آزمون‌ها و استاندارد آنتن؛
- جدول پایه آزمون‌ها و استانداردهای تجهیزات سیم کارت خور سمت کاربر (تلفن همراه، تبلت ، مودم و ...) در نسل ۴ شبکه ارتباطات سیار (4G)؛
- جدول پایه آزمون‌ها و استانداردهای تجهیزات سیم کارت خور سمت کاربر (تلفن همراه، تبلت ، مودم و ...) در نسل ۳ شبکه ارتباطات سیار (3G)؛
- جدول پایه آزمون‌ها و استانداردهای تجهیزات سیم کارت خور سمت کاربر (تلفن همراه، تبلت ، مودم و ...) در نسل ۲ شبکه ارتباطات سیار (GSM)؛
- جدول پایه آزمون‌ها و استانداردهای تجهیزات ایستگاه پایه و تکرارکننده نسل ۴ شبکه ارتباطات سیار (4G)؛
- جدول پایه آزمون‌ها و استانداردهای تجهیزات ایستگاه پایه و تکرارکننده نسل ۳ شبکه ارتباطات سیار (3G)؛
- جدول پایه آزمون‌ها و استانداردهای تجهیزات ایستگاه پایه و تکرارکننده نسل ۲ شبکه ارتباطات سیار (GSM).

omoorepeyman.ir

۱-۱۰-۲- استانداردهای بین‌المللی و الزامات فنی

در کنار استانداردهای داخلی، استفاده از تجهیزات تقویت‌کننده و سایر راه‌کارهای IBS باید با استانداردهای بین‌المللی نیز سازگار باشد. این استانداردها توسط سازمان‌های بین‌المللی مانند ETSI[۱]، ITU-R[۲] و FCC[۳] تعیین شده است و در تمامی کشورها، به‌ویژه در کشورهایی که از فناوری‌های موبایل استفاده گسترده‌ای می‌کنند، الزامی است. در ادامه ابتدا استانداردها و توصیه‌ها و مراجع بین المللی مرتبط بیان شده است.

۱-۱۰-۲-۱- استاندارد "ETSI EN 303 609-4"

این استاندارد، شرایط لازم برای عملکرد صحیح تقویت‌کننده‌ها از جمله محدودیت‌های توان خروجی، مدیریت تداخل، پهنای باند قابل قبول، عدم انسداد BTS و ULPC را مشخص می‌کند تا اطمینان حاصل شود که این تجهیزات بدون ایجاد اختلال در شبکه ماکرو، سیگنال را به‌درستی تقویت می‌کنند. هدف اصلی این استاندارد، ارتقاء کیفیت خدمات درون‌ساختمانی و جلوگیری از مشکلاتی مانند افزایش نویز شبکه، بروز ناپایداری بهره توان داخلی در تقویت‌کننده و ایجاد تداخل با ایستگاه‌های پایه است.

۱-۱۰-۲-۲- استاندارد "ETSI EN 301 511 V12.5.1"

این استاندارد به‌طور خاص به الزامات فنی و آزمایش تجهیزات تقویت‌کننده و راه‌کارهای بی‌سیم درمحیط‌های درون‌ساختمانی، به‌ویژه در زمینه رعایت EMC، مدیریت گسیلش‌های شبکه رادیویی و عدم تداخل با شبکه‌های دیگر می‌پردازد. این استاندارد، شرایط لازم برای طراحی، نصب و عملکرد تجهیزات IBS مانند تقویت‌کننده‌ها و سیستم‌های DAS را مشخص می‌کند تا اطمینان حاصل شود که این تجهیزات بدون ایجاد اختلال در شبکه‌های موبایلی و سایر سیستم‌های رادیویی، عمل می‌کنند. هم‌چنین، الزاماتی را برای آزمون‌های الکترومغناطیسی، اندازه‌گیری پهنای باند، مدیریت توان خروجی و رعایت حدود تداخل تعیین می‌کند که در متونی مانند تصمیم CRA-DEC 5009-01 نیز منبع استنادی قرار گرفته است.

۱-۱۰-۲-۳- استاندارد "ETSI EN 301 908"

یکی از استانداردهای مهم سازمان ETSI است که به‌طور خاص به الزامات فنی و رادیویی تقویت‌کننده‌های سیگنال در شبکه‌های موبایل UMTS و LTE می‌پردازد. این استاندارد، شرایط لازم برای رعایت EMC، مدیریت گسیلش‌های خارج از باند[۴]، حداکثر توان خروجی و هم‌چنین جلوگیری از تداخل با BTSهای اصلی را تعیین می‌کند تا اطمینان حاصل شود که تجهیزات IBS بدون ایجاد اختلال در شبکه ماکرو، عملکرد صحیحی داشته باشد. این استاندارد، علاوه بر الزامات فنی، شامل آزمون‌های دقیق شبکه رادیویی، آزمون SAR[۵] و مدیریت پهنای باند نیز می‌شود و منبع اصلی برای طراحی، نصب

---

[۱] European Telecommunications Standards Institute

[۲] International Telecommunication Union – Radiocommunication Sector

[۳] Federal Communications Commission

[۴] out-of-band emissions

[۵] نرخ جذب ویژه یا Specific Absorption Rate، معیاری است که مقدار انرژی الکترومغناطیسی جذب‌شده توسط بدن انسان که در معرض تجهیزاتی مثل گوشی‌های همراه، ساعت‌های هوشمند، تجهیزات IBS و سایر منابع سیگنال رادیویی قرار گرفته است را بر حسب وات بر کیلوگرم (W/kg) اندازه‌گیری می‌کند.

omoorepeyman.ir

و آزمون تقویت‌کننده‌ها در کشورهای اروپایی و هم‌چنین در متون داخلی ایران مانند تصمیم CRA-DEC 5009-01 قرار گرفته است.

۱-۱۰-۲-۴- استاندارد "ETSI TS 125 106"

یکی از استانداردهای مهم سازمان پیشرفته شبکه ارتباطات اروپا است که به‌طور خاص به الزامات فنی تقویت‌کننده‌های UMTS می‌پردازد و نحوه عملکرد صحیح این تجهیزات در شبکه‌های موبایل نسل سوم را مشخص می‌کند. این استاندارد، الزاماتی را در زمینه ULPC، جلوگیری از تداخل با BTSهای اصلی، مدیریت نویز و تداخل داخلی، هم‌چنین طراحی صحیح شبکه رادیویی برای تقویت‌کننده‌های UMTS تعیین کرده است تا از افزایش کف نویز شبکه، بروز ناپایداری بهره توان داخلی در تقویت‌کننده و ایجاد تداخل با ایستگاه‌های پایه جلوگیری شود. هدف اصلی این استاندارد، اطمینان از این است که تقویت‌کننده‌های UMTS بدون ایجاد اختلال در شبکه ماکرو، بتوانند سیگنال ضعیف را به‌درستی تقویت کنند و خدمات صوتی و داده را در محیط‌هایی با پوشش ضعیف بهبود بخشند.

۱-۱۰-۲-۵- استانداردهای "ANSI/TIA 568" و "ISO/IEC 11801"

دو استاندارد بین‌المللی معتبر در زمینه طراحی و پیاده‌سازی زیرساخت‌های شبکه‌های کابلی ساختمانی هستند که عمدتاً برای شبکه‌های LAN و زیرساخت‌های کابلی ساخت‌یافته به کار می‌روند. این استانداردها الزاماتی را در خصوص نوع کابل‌ها، تجهیزات اتصالی، طول مجاز سگمنت‌ها، مدیریت EMI و عملکرد کلی شبکه تعیین می‌کنند. در راه‌کارهای IBS، این استانداردها نقش مهمی در طراحی زیرساخت فیزیکی شبکه برای سیستم DAS فعال، سلول‌های کوچک و سیستم‌های شبکه رادیویی داخلی دارند؛ زیرا انتقال سیگنال‌های دیجیتال در این سیستم‌ها به زیرساخت‌های کابلی قوی و استاندارد نیاز دارد. استفاده از کابل‌های UTP، FTP یا فیبرنوری با کیفیت مناسب، رعایت فواصل و تداخل‌های الکترومغناطیسی، و مدیریت صحیح زیرساخت کابلی، تحت تأثیر این استانداردها صورت می‌گیرد و می‌تواند به پایداری سیگنال، کاهش نویز و افزایش قابلیت اطمینان سیستم IBS کمک کند. فصل یک جلد سوم ضابطه ۱۱۰ نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور که بر اساس گروه استانداردهای ISO/IEC 11801 نگارش شده است، می‌تواند در این خصوص مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۱۰-۲-۶- استاندارد "ETSI EN 303 354"[1]

به‌طور خاص به الزامات فنی تقویت‌کننده‌های سیگنال شبکه GSM در محیط‌های داخلی می‌پردازد. این استاندارد، شرایط لازم برای عملکرد صحیح و بدون تداخل این تجهیزات را مشخص کرده و شامل ضوابطی در خصوص حداکثر توان خروجی، مدیریت پهنای باند، رعایت الزامات EMC و جلوگیری از افزایش کف نویز شبکه می‌شود. هدف اصلی این استاندارد، اطمینان از این است که تجهیزات تقویت‌کننده GSM فقط سیگنال‌های مورد نظر را تقویت کند و باعث اختلال در شبکه‌های موبایلی دیگر نشود. این استاندارد در کشورهای مختلف اروپایی و آسیایی به‌عنوان یک منبع مرجع برای طراحی، نصب و آزمون تقویت‌کننده‌های GSM مورد استفاده قرار می‌گیرد و بر اساس تصمیم CRA-DEC 5009-01 سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی نیز به‌عنوان یکی از استانداردهای مبنایی برای استفاده در راه‌کارهای IBS (تقویت‌کننده‌های سیگنال شبکه GSM) مطرح شده است.

[1] مستنداتی که در آن EN است استاندارد اروپایی رسمی و نهایی است که جنبه حقوقی/الزامی دارد.

omoorepeyman.ir

۱-۱۰-۲-۷- توصیه نامه‌های "ITU-R SM.329" و "ITU-R SM.1541"

این دو مستند، الزاماتی را درباره گسیلش‌های خارج از باند و گسیلش‌های غیرضروری مشخص کرده‌اند. به‌ویژه در مورد تجهیزاتی که سیگنال را بدون تغییر تقویت می‌کنند (مثل تقویت‌کننده‌ها)، بسیار حائز اهمیت هستند، چرا که این تجهیزات تمایل دارند هم سیگنال و هم نویز موجود در محیط را تقویت کنند و این امر می‌تواند منجر به تداخل با سیستم‌های دیگر شود. این مستندات به‌طور خاص برای تجهیزاتی که بدون تغییر در ساختار سیگنال، آن را تقویت می‌کنند، مثل تقویت‌کننده‌ها و تقویت‌کننده‌های شبکه رادیویی، اهمیت بسزایی دارند؛ زیرا نه تنها سیگنال مورد نظر را تقویت می‌کنند، بلکه نویز و سیگنال‌های خارج از باند موجود در محیط را نیز تقویت می‌کنند. این امر می‌تواند منجر به افزایش سطح نویز کلی شبکه و تداخل با سیستم‌های دیگر شود.

۱-۱۰-۲-۸- توصیه نامه "CEPT/ERC Rec. 74-01"

مربوط به کشورهای عضو اتحادیه شبکه ارتباطات اروپایی است که بیشتر شامل کشورهای اروپایی و برخی کشورهای همسایه می‌شود. این توصیه نامه، الزامات فنی و راهنمایی‌هایی را در خصوص رعایت EMC و مدیریت گسیلش‌های غیرضروری تجهیزات رادیویی وضع کرده است. هدف اصلی این سند، جلوگیری از تداخل شبکه رادیویی با سایر خدمات رادیویی حساس و کنترل حداقل توان منتشرشده در خارج از باند است. این توصیه به‌ویژه در راه‌کارهای IBS اهمیت دارد؛ زیرا تجهیزاتی مانند تقویت‌کننده و سیستم DAS بدون رعایت این استاندارد می‌تواند منجر به افزایش نویز شبکه ماکرو و اختلال در سایر سرویس‌های رادیویی شود. بنابراین، تمامی تجهیزات شبکه رادیویی که در محیط‌های عمومی و داخلی نصب می‌شوند، به‌ویژه در ساختمان‌های دولتی، بیمارستان‌ها و فضاهای شهری، باید دارای گواهی انطباق با این توصیه باشند.

۱-۱۰-۲-۹- مقررات "FCC Part 20"

این الزام شامل مواردی مانند AGC، محدودسازی بهره تقویت‌کننده، جلوگیری از ورود دستگاه به حالت ناپایدار و رعایت محدودیت‌های تشعشعی است. هم‌چنین، تقویت‌کننده باید به‌گونه‌ای طراحی شود که موجب افزایش نویز فراسو، انسداد گیرنده ایستگاه پایه یا ایجاد تداخل در سایر خدمات رادیویی نشود.

۱-۱۰-۲-۱۰- مشخصات فنی "ETSI TS 103 198 V1.2.1"[1]

این مشخصات که در ماه چهارم سال ۲۰۲۰ منتشر شده است، یکی از مستندات مهم منتشرشده توسط ETSI است که به‌طور خاص به سیستم‌های DAS دیجیتال و فعال می‌پردازد و الزامات فنی لازم برای طراحی، نصب و آزمون این سیستم‌ها را مشخص می‌کند. این سند با هدف ارتقای کیفیت پوشش شبکه درون‌ساختمانی، رعایت الزامات EMC، جلوگیری از تداخل با شبکه ماکرو و اطمینان از عملکرد قابل اعتماد سیستم DAS در محیط‌های شهری و عمومی تدوین شده است. در این سند، نحوه مدیریت باندهای فرکانسی مختلف، استفاده از زیرساخت فیبرنوری، پشتیبانی چند اپراتوری و قابلیت توسعه آینده‌نگر برای خدمات 5G و IoT به‌تفصیل پوشش داده شده است. هم‌چنین، شامل دستورالعمل‌هایی برای مدیریت

[1] مستنداتی که در آن TS آمده است استاندارد فنی رسمی است که الزامات، روش‌های آزمون یا پارامترهای فنی را تعریف می‌کند، ولی ممکن است هنوز در مرحله قبل از استاندارد نهایی اروپا یا EN باشد.

omoorepeyman.ir

مرکزی سیستم DAS، بهینه‌سازی پوشش شبکه رادیویی و تضمین کیفیت خدمات و سرویس در فضاهای بزرگ و حساس (مانند فرودگاه‌ها، بیمارستان‌ها و ساختمان‌های دولتی) است.

۱-۱۰-۲-۱۱- گزارش فنی "3GPP TR 36.902 V15.0.01"

این گزارش فنی یکی از اسناد مرجع سازمان 3GPP در قالب پروژه همکاری‌کننده فنی است که به سناریوهای طراحی و استقرار شبکه‌های LTE، از جمله راه‌کارهای پوشش درون‌ساختمانی و معماری‌های مبتنی بر DAS می‌پردازد. تمرکز اصلی این سند بر ارایه راهنمای فنی، مدل‌های مرجع و سناریوهای پیشنهادی برای طراحان و مجریان شبکه در بهبود کیفیت پوشش و ظرفیت LTE در محیط‌های داخلی است. این گزارش نقش استاندارد الزام‌آور ندارد و به‌عنوان مرجع تحلیلی و راهنمای طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱-۱۰-۲-۱۲- مشخصات صنعتی "CPRI Specification I & II"

این سند به‌طور ویژه در معماری‌های کلاسیک BBU و RRU سیستم‌های رادیویی موبایل کاربرد دارد و به طراحی سیستم‌های DAS فعال و دیجیتال کمک می‌کند. این مشخصات توسط گروهی از شرکت‌های بزرگ ارتباطات اروپایی، آمریکایی و آسیایی توسعه یافته است و برای انتقال کارآمد سیگنال‌های شبکه رادیویی به‌صورت دیجیتال، بین لایه Baseband[۲] و لایه رادیویی، الزامات فنی لازم را تعیین کرده است. این مشخصات شامل پارامترهایی در خصوص نرخ داده، نحوه کدگذاری، مدیریت تاخیر، همگام‌سازی زمانی و هم‌چنین الزامات فیزیکی اتصال (معمولا فیبرنوری) است. این مشخصات نقش کلیدی در طراحی و اجرای سیستم‌های DAS فعال ایفا می‌کند؛ زیرا اطمینان حاصل می‌کند که انتقال سیگنال بین واحد مرکزی و آنتن‌های داخلی با کیفیت بالا، بدون تلفات قابل توجه و با رعایت الزامات شبکه صورت می‌گیرد. بنابراین، در راه‌کارهای IBS که از سیستم DAS دیجیتال مبتنی بر CPRI استفاده می‌کنند، به‌ویژه در محیط‌های دولتی، عمومی و شهری، توصیه می‌شود سازگاری با این مشخصات بررسی شود.

۱-۱۰-۲-۱۳- توصیه "O-RAN Alliance Specifications"

مجموعه‌ای از توصیه‌ها و راهنمایی‌های فنی است که یک چارچوب باز و قابل انعطاف برای توسعه شبکه‌های دسترسی رادیویی باز یا Open RAN[۳] فراهم می‌کند. این مشخصات توسط اتحادیه O-RAN که یک کنسرسیوم صنعتی و بین‌المللی متشکل از اپراتورهای شبکه رادیویی، شرکت‌های فناوری و تامین‌کنندگان تجهیزات است، تدوین شده‌اند و شامل الزاماتی در زمینه ساختار منطقی شبکه، مدیریت شبکه رادیویی، رابط‌های دیجیتال (مانند eCPRI[۴]) و امکان همگرایی معماری‌های DAS دیجیتال فعال با چارچوب Open RAN و ادغام با شبکه‌های 5G و IoT هستند. این مشخصات به‌ویژه در طراحی و استقرار سیستم‌های DAS دیجیتال و فعال کاربرد دارند و به منظور افزایش قابلیت کارکرد متقابل[۵]، کاهش وابستگی به یک تولیدکننده واحد و تسهیل توسعه آینده‌نگر شبکه‌های IBS منتشر شده‌اند.

---

[۱] مستنداتی که در آن TR آمده گزارش فنی توضیحی و غیرالزام‌آور است.

[۲] بخش پردازش سیگنال دیجیتال شبکه موبایل است که قبل از تبدیل به RF عمل می‌کند.

[۳] Radio Access Network

[۴] Enhanced Common Public Radio Interface

[۵] Interoperability

omoorepeyman.ir

۱-۱۰-۲-۱۴- توصیه "TR 22.912 V16.0.0 (3GPP – Study on DAS requirements and solutions)"

یک مستند توصیه‌ای و فنی از سازمان 3GPP است. این سند با عنوان "Study on DAS requirements and solutions" به بررسی جامع الزامات فنی و عملیاتی مورد نیاز برای طراحی، پیاده‌سازی و بهینه‌سازی سیستم‌های DAS در شبکه‌های موبایلی می‌پردازد. هدف اصلی این گزارش، شناسایی چالش‌ها، سناریوهای کاربردی و راه‌کارهای مناسب برای ادغام سیستم DAS با شبکه‌های LTE و 5G NR است. این سند شامل بررسی نیازمندی‌های سرویس، سناریوهای چنداپراتوری، الزامات عملکردی در محیط‌های پرتراکم و ملاحظات توسعه‌پذیری سیستم‌های DAS برای شبکه‌های LTE و 5G NR برای خدمات آینده‌نگر است.

۱-۱۰-۲-۱۵- توصیه نامه‌های "ITU-R SM.2098" و "ITU-R M.2083"

این دو توصیه نامه، مستندات مهمی از بخش ارتباطات رادیویی اتحادیه موسوم به ITU-R هستند که به‌ترتیب به مدیریت طیف فرکانسی و الزامات مدیریت تداخل در شبکه‌های رادیویی، و مشخصات فنی سیستم‌های 5G NR می‌پردازند. توصیه‌نامه ITU-R SM.2098 به تعیین حدود گسیلش ناخواسته و الزامات طیفی برای جلوگیری از تداخل بین‌سرویسی در سیستم‌های رادیویی می‌پردازد و الزاماتی را برای جلوگیری از تداخل با سرویس‌های موجود در طیف فرکانسی وضع می‌کند. این مستند به‌ویژه در راه‌کارهای IBS اهمیت دارد، زیرا اطمینان حاصل می‌کند که تجهیزاتی مانند تقویت‌کننده سیگنال بدون ایجاد اختلال در خدمات یک‌دیگر، عملکرد صحیحی داشته باشند. توصیه‌نامه ITU-R M.2083 نیز الزامات فنی و شعاعی را برای شبکه‌های 5G NR تعیین می‌کند و شامل دستورالعمل‌هایی در خصوص باندهای فرکانسی مورد استفاده، مدیریت شبکه رادیویی، و نحوه بهره‌برداری از منابع طیف فرکانسی در محیط‌های شهری و داخلی است. این دو توصیه نامه در کنار یک‌دیگر، چارچوبی فنی و رگولاتوری برای توسعه پایدار و ایمن راه‌کارهای IBS در عصر 5G را فراهم می‌کنند و می‌توانند به‌عنوان منبع استنادی برای رعایت الزامات مدیریت تداخل طیفی و بهره‌برداری کارا از منابع فرکانسی مورد استفاده قرار گیرند.

۱-۱۰-۲-۱۶- توصیه "FCC KDB 903.268 DAS Policy Statement"

یک توصیه فنی و سیاستی از سوی کمیسیون FCC است، که به‌عنوان راهنمای تفسیری مقررات FCC در فرآیندهای ارزیابی و صدور مجوز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سند به‌عنوان یک راهنمای رگولاتوری برای مجریان سیستم‌های DAS در ایالات متحده منتشر شده و شامل دستورالعمل‌هایی در خصوص نحوه اعمال مقررات FCC Part 20 و Part 90 برای سیستم‌های DAS است. هدف اصلی این سیاست، اطمینان از این است که سیستم‌های DAS بدون ایجاد تداخل با شبکه ماکرو و با رعایت الزامات EMC، SAR و کنترل توان در چارچوب Part 20، عملکرد صحیحی داشته باشند. این سند، نحوه مدیریت توان شبکه رادیویی، آزمون تداخل، ارایه خدمات چند اپراتوری و هم‌چنین مستندسازی لازم برای اثبات انطباق با مقررات FCC را مشخص کرده و منبع استنادی مهمی برای تمامی مجریان، طراحان و ناظران فنی در زمینه استقرار سیستم DAS در محیط‌های عمومی و شهری است. این سیاست به‌صورت غیررسمی به‌عنوان یک مرجع تفسیری رگولاتوری در اجرای تمامی راه‌کارهای IBS در آمریکا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

omoorepeyman.ir

۱-۱۰-۲-۱۷- مشخصات فنی "ETSI TS 103 198 V1.2.1"

یکی از مستندات فنی منتشرشده توسط موسسه ETSI است که به الزامات فنی و تطابق تجهیزات سیستم‌های رادیویی توزیع‌شده (DAS دیجیتال) در محیط‌های شهری و عمومی می‌پردازد. این سند یک راهنمای جامع برای مجریان راه‌کارهای IBS فراهم می‌کند و الزاماتی را درباره نحوه ادغام سیستم DAS با شبکه‌های 5G NR، مدیریت شبکه رادیویی، قابلیت توسعه آینده‌نگر، و هم‌چنین رعایت الزامات EMC و SAR تعیین می‌کند. این سند دستورالعمل‌های دقیق در خصوص مدیریت مرکزی شبکه در سیستم DAS، آزمون‌های زنجیرهٔ سیگنال، و الزامات انتقال سیگنال دیجیتال بین اجزای توزیع‌شده سیستم رادیویی را پوشش می‌دهد و به‌عنوان یک منبع استنادی مهم برای طراحان، مجریان و ناظران فنی در راه‌کارهای IBS مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تمامی سیستم‌های DAS دیجیتال که در کشورهای اروپایی یا مناطق تحت تأثیر این استاندارد اجرا می‌شوند، انطباق با این سند به‌عنوان مرجع فنی توصیه می‌شود.

۱-۱۰-۳- الزامات فنی و ملاحظات عملی

علاوه بر مستندات فوق، چندین الزام فنی و ملاحظه عملی وجود دارد که در طراحی و استقرار هر نوع راه‌کار درون‌ساختمانی باید رعایت شوند:

۱-۱۰-۳-۱- محدودیت توان تقویت شده

این ویژگی از جمله مهمترین عوامل موثر بر رعایت استانداردهای EMC، جلوگیری از تداخل با شبکه ماکرو و اطمینان از ایمنی کاربران است. براساس تصمیم CRA-DEC 5009-01 و برخی استانداردهای بین‌المللی مانند ETSI EN 303 609 و ITU-R SM.329 ، تمامی تجهیزات تقویت‌کننده سیگنال موبایل باید دارای محدودیت‌های مشخصی در خصوص حداکثر توان خروجی شبکه رادیویی باشند. طبق این الزامات، e.i.r.p در باند فروسو نباید از ۳۰ dBm و در باند فراسو نباید از ۲۰ dBm تجاوز کند. هم‌چنین، حداقل توان گسیلش‌های غیرضروری در باندهای خارج از محدودهٔ کاری نیز باید تحت کنترل باشد؛ به‌طوری‌که در بازه ۹ کیلوهرتز تا ۱ گیگاهرتز، حداکثر ۲۵۰ نانووات و در بازه ۱ گیگاهرتز تا ۱۲/۷۵ گیگاهرتز، حداکثر ۱ میکروات تشعشع داشته باشد. این محدودیت‌ها باعث جلوگیری از انسداد BTSهای شبکه ماکرو، کاهش نویز کلی شبکه و ارتقای کیفیت خدمات دریافتی کاربران می‌شود و برای تمامی راه‌کارهای IBS شامل سیستم DAS و تقویت‌کننده سیگنال در ساختمان‌های دولتی، عمومی و شهری لازم الاجرا است.

۱-۱۰-۳-۲- تقویت دوطرفه و عدم استفاده از تقویت یک‌طرفه

در اجرای IBS یکی از الزامات فنی کلیدی، رعایت اصل «تقویت دوطرفه» و ممنوعیت استفاده از تجهیزات تقویت‌کننده یک‌طرفه است. این الزام به‌منظور جلوگیری از ایجاد اختلال در شبکه ماکرو و حفظ تعادل در تعامل بین گوشی کاربر و BTS ایستگاه پایه وضع شده است. بر اساس تصمیم CRA-DEC 5009-01 و استانداردهای بین‌المللی مانند ETSI EN 303 609 و ITU-R SM.329، تمامی تجهیزات تقویت‌کننده موبایل باید قادر باشند هم در باند فراسو و هم در باند فروسو سیگنال را به‌صورت متوازن تقویت کنند. استفاده از تجهیزات یک‌طرفه که فقط سیگنال خارجی را به داخل منتقل می‌کنند و اجازه بازگشت سیگنال کاربر به شبکه را نمی‌دهند، می‌تواند منجر به افزایش نویز شبکه، انسداد BTS و کاهش ظرفیت کلی شبکه شود.

omoorepeyman.ir

۱-۱۰-۳-۳- کنترل توان فراسو در ULPC

کنترل توان فراسو (ULPC) مکانیزمی در شبکه است که با حفظ شفافیت پیوند بین تجهیزات سیم‌کارت‌خور سمت کاربر و BTS، مانع از افزایش غیرضروری توان ارسال گوشی‌ها در حضور سیستم‌های IBS می‌شود.. ULPC اطمینان می‌دهد که تجهیزات سیم‌کارت‌خور سمت کاربر[۱] در صورت دور شدن از منبع سیگنال، توان خود را افزایش می‌دهد و در صورت نزدیکی به BTS یا سیستم DAS، توان خود را کاهش می‌دهد؛ این امر در تمامی راه‌کارهای IBS، اعم از تقویت‌کننده، فمتوسل، سیستم DAS فعال و غیره، باید به‌خوبی حفظ شود. عدم حفظ ULPC می‌تواند منجر به افزایش نویز کلی شبکه، کاهش ظرفیت سلول و حتی انسداد گیرنده BTS شود. سیستم‌های IBS باید مجهز به ویژگی AGC و ALC[۲] باشد تا در صورت نزدیک شدن گوشی کاربر به آنتن‌های داخلی، از اشباع شدن تقویت‌کننده، و به تبع آن ارسال سیگنال با نویز بالا به سمت BTS جلوگیری کند. عدم تطابق بهره سیستم با تلفات مسیر، باعث می‌شود مکانیزم ULPC گوشی نتواند به درستی توان خروجی را کاهش دهد که این امر منجر به ایجاد تداخل در کل سلول سرویس‌دهنده می‌شود. این موضوع در طراحی، آزمون و تنظیم سطح بهره تجهیزات باید به‌طور دقیق بررسی و مستند شود تا از نظر فنی و رگولاتوری با الزامات تصمیم CRA-DEC 5009-01، ETSI EN 303 609 و ITU-R SM.329 انطباق داشته باشد.

۱-۱۰-۳-۴- جلوگیری از افزایش کف نویز شبکه

این موضوع در راه‌کارهایی مانند تقویت‌کننده‌ها حائز اهمیت است؛ زیرا این دستگاه‌ها بدون رعایت مکانیزم‌های کنترل توان، نه تنها سیگنال، بلکه نویز موجود در محیط را نیز تقویت می‌کنند و این امر باعث افزایش کف نویز[۳] در BTS اصلی شده و منجر به کاهش کارایی شبکه برای تمام کاربران می‌شود. بر اساس تصمیم CRA-DEC 5009-01 و استانداردهای بین‌المللی مانند ETSI EN 303 609 و ITU-R SM.329، تجهیزات IBS باید به‌گونه‌ای طراحی و تنظیم شوند که مکانیزم ULPC ذاتی شبکه و تجهیزات سیم‌کارت‌خور سمت کاربر دچار اختلال نشود تا اطمینان حاصل شود که سیگنال‌های دریافتی از کاربران داخلی به‌درستی مدیریت شده و از افزایش بی‌جای سطح نویز در شبکه ماکرو جلوگیری شود. هم‌چنین، رعایت حداقل فاصله بین آنتن‌های داخلی و خارجی، استفاده از فیلترهای شبکه رادیویی و انتخاب دقیق باند کاری، اقداماتی است که در مرحله طراحی و نصب باید لحاظ شود تا از ایجاد پدیده‌هایی مانند پدیده انسداد گیرنده[۴] و بروز ناپایداری بهره توان داخلی در تقویت‌کننده نیز جلوگیری شود.

در IBS، الزامات «جلوگیری از افزایش کف نویز شبکه» و «کنترل توان فراسو در ULPC» به هم مرتبط هستند، اما هر کدام جنبه متفاوتی از یک مشکل فنی را پوشش می‌دهند. ULPC به مکانیزم مدیریت هوشمند توان خروجی گوشی کاربران در مسیر فراسو اشاره دارد و اطمینان حاصل می‌کند که گوشی‌ها فقط به اندازه لازم توان خود را بالا ببرند. این موضوع مستقیما با عملکرد شبکه و تعامل آن با تجهیزات IBS مثل تقویت‌کننده و سیستم DAS ارتباط دارد. از طرف دیگر، افزایش کف نویز شبکه اشاره به تداخل و نویز کلی دریافتی توسط BTS از تمام منابع دارد، اعم از گوشی‌های کاربران، تجهیزات IBS، و حتی تجهیزات الکترونیکی غیرشبکه‌ای. بنابراین، عدم حفظ ULPC در راه‌کارهای IBS می‌تواند منجر به

---

[۱] مانند گوشی تلفن همراه، تبلت، مودم و موارد دیگر. در مستندات انگلیسی به آن UE یا User Equipment گفته می‌شود.

[۲] کنترل سطح خودکار یا Automatic Level Control، وظیفه اصلی ALC پایش توان خروجی دستگاه است. در صورتی که سیگنال ورودی بیش از حد قوی شود (مثلاً زمانی که کاربر با گوشی خود به آنتن داخلی خیلی نزدیک می‌شود یا سیگنال سایت مادر نوسان شدید دارد)، به طور خودکار بهره (Gain) تقویت‌کننده را کاهش دهد. این مکانیزم در تقویت‌کننده‌ها نقشی حیاتی دارد.

[۳] Noise Floor Increase

[۴] Receiver Blocking

omoorepeyman.ir

افزایش کف نویز شبکه ماکرو شود، اما افزایش کف نویز تنها ناشی از عدم رعایت ULPC نیست و ممکن است از دلایل دیگری مثل بروز ناپایداری بهره توان داخلی در تقویت‌کننده، عدم آزمون EMC، یا وجود تجهیزات بدون مجوز نیز ناشی شود. به همین دلیل، ULPC بخشی از راه‌حل برای جلوگیری از افزایش کف نویز است، اما جلوگیری از افزایش کف نویز شبکه یک مسئله عمومی‌تر است که شامل رعایت تمام الزامات فنی و EMC در تمامی راه‌کارهای IBS می‌شود.

۱-۱۰-۳-۵- جلوگیری از بروز ناپایداری بهره توان داخلی و بازخورد

در راه‌کارهای IBS، یکی از ملاحظات فنی حیاتی، جلوگیری از بروز ناپایداری بهره توان داخلی در تقویت‌کننده است. ناپایداری زمانی رخ می‌دهد که سیگنال آنتن خروجی یا فراسو به‌صورت ناخواسته به آنتن ورودی یا فروسو بازخورد داده شود و بهره کلی سیستم از تلفات مسیر فراتر رود؛ این امر منجر به تولید سیگنال‌های غیرقابل کنترل و اختلال جدی در شبکه ماکرو می‌شود. برای جلوگیری از این پدیده، الزاماتی مانند رعایت حداقل فاصله بین آنتن‌های داخلی و خارجی، استفاده از فیلترهای فرکانسی مجزا و نصب تجهیزات دارای مکانیزم‌های تشخیص و مهار ناپایداری بهره[۱] تعیین شده است. هم‌چنین، طراحی دقیق شبکه رادیویی و محاسبه بودجه پیوند به همراه آزمون‌های میدانی قبل از راه‌اندازی نهایی، نقش کلیدی در شناسایی و رفع این مشکل دارد. بنابراین، تمامی راه‌کارهای IBS، به‌ویژه در ساختمان‌های دولتی و عمومی، باید دارای طراحی صحیح آنتنی و دوری از شرایط بازخورد الکترومغناطیسی باشد تا از بروز اختلال در شبکه موبایل و عدم رضایت کاربران جلوگیری شود.

۱-۱۰-۳-۶- انطباق با استانداردها و الزامات EMC

یکی از مهم‌ترین ملاحظات فنی و رگولاتوری انطباق با الزامات EMC است. عدم رعایت این الزامات می‌تواند منجر به تداخل با شبکه ماکرو، اختلال در عملکرد تجهیزات حساس داخلی (مانند تجهیزات پزشکی یا صنعتی)، و هم‌چنین افزایش سطح تشعشع الکترومغناطیسی برای کاربران شود. تمامی راه‌کارهای IBS، اعم از سیستم DAS، فمتوسل، تکرارکننده و تقویت‌کننده باید دارای گواهی EMC و انطباق با استانداردهای شبکه رادیویی مانند ETSI EN 303 609، ITU-R SM.329، FCC Part 20 (به‌عنوان مرجع تطبیقی بین‌المللی) و هم‌چنین الزامات داخلی ایران شامل استاندارد ملی ۸۵۶۷ و ابلاغیه سازمان انرژی اتمی ایران باشند. علاوه بر این، در مرحله نصب و راه‌اندازی، رعایت فاصله ایمن آنتن‌ها، استفاده از فیلترهای سیگنال رادیویی، و آزمون دوره‌ای سیگنال برای اطمینان از عدم افزایش چگالی توان سیگنال رادیویی و جلوگیری از تداخل با BTSهای شهری، باید انجام شود. بنابراین، مدیریت صحیح EMC در تمام مراحل طراحی، نصب، آزمون و نگهداری سیستم، نقش کلیدی در تضمین کیفیت خدمات، ایمنی عمومی و رعایت مقررات قانونی دارد.

۱-۱۰-۳-۷- الزامات ایمنی

در اجرای راه‌کارهای IBS، به‌منظور حفظ سلامت عمومی، باید ضوابط ایمنی رعایت شود. در مواردی که تجهیزات رادیویی شامل تقویت‌کننده‌ها و آنتن‌ها در ساختمان‌های گروه ۱ تا ۳ جدول (۱-۴) و در نزدیکی تجهیزات الکترونیکی حساس مانند MRI و سیستم‌های صنعتی دقیق هستند، باید حریم فیزیکی با تجهیزات مذکور مطابق مشخصات فنی آنها رعایت شود. اپراتور مسئول است در تمامی مراحل طراحی، نسبت به رعایت EMC از لحاظ فاصله ایمن با انسان‌ها و تجهیزات ساختمان، ارزیابی و شبیه سازی لازم را انجام دهد.

[۱] Oscillation Detection & Suppression

omoorepeyman.ir

در ادامه چک لیست پیشنهادی برای کنترل شرایط ایمنی ارایه شده است:

۱) ارزیابی EMF و فاصله ایمن

- محاسبه چگالی توان مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۸۵۶۷ انجام شود.
- فاصله ایمن از آنتن‌ها مطابق ابلاغیه ۲۳۵۸۳۶ سازمان انرژی اتمی رعایت شود.
- در ساختمان‌های گروه ۱ (بیمارستان/مرکزداده): فاصله ایمن مطابق مشخصات سازنده تجهیزات حساس (MRI، سرورها) رعایت شود.

۲) اندازه‌گیری EMF

- تیم فنی اپراتور محاسبات و اندازه‌گیری‌های EMF را انجام دهد.
- این محاسبات باید با حدود و دستورالعمل‌های اعلام‌شده توسط سازمان انرژی اتمی تطابق داشته باشد.
- نتیجه در قالب گزارش فنی، تهیه می‌شود و مسئولیت رعایت آن بر عهده اپراتور است.

۳) تجهیزات حساس، ویژه گروه ۱ و ۲ جدول (۱-۴)

- فهرست تجهیزات حساس ساختمان (MRI، ECG، سیستم‌های کنترل صنعتی) تهیه شود.
- آزمون EMC با حضور متخصص تجهیزات حساس انجام شود.
- هماهنگی با واحد فنی (بیمارستان/مرکزداده) قبل از نصب انجام شود.
- روش قطع اضطراری تجهیزات IBS در اتاق تجهیزات مشخص شود.

۴) کنترل دسترسی و ایمنی فیزیکی

- اتاق تجهیزات دارای قفل امنیتی و ثبت ورود/خروج است.
- علائم «اتاق تجهیزات - ورود با هماهنگی» نصب شود.
- دسترسی فقط توسط پرسنل مجاز (اپراتور/بهره‌بردار)؛
- در ساختمان‌های گروه ۱: هماهنگی با واحد امنیت برای دسترسی انجام شود.

۵) مستندات و گزارش‌دهی

- گزارش آزمون EMF در زمان راه‌اندازی تهیه شود.
- گزارش آزمون EMC با تجهیزات حساس (در صورت وجود) تهیه شود.
- برنامه بازرسی دوره‌ای سالانه EMF تعریف شود.
- مستندات شامل نقشه محل نصب آنتن‌ها و محدوده پوشش تحویل داده شود.

۶) آموزش و آگاهی

- آموزش ایمنی تجهیزات رادیویی به پرسنل نگهداری ساختمان ارایه شده است.
- دستورالعمل اقدامات اضطراری در دسترس پرسنل قرار داده شده است.
- شماره تماس اضطراری اپراتور و بهره‌بردار در اتاق تجهیزات نصب شده است.

۷) الزامات ویژه گروه ۱ (بیمارستان/مرکزداده)

omoorepeyman.ir

- آزمون تداخل با تجهیزات پزشکی/IT قبل و بعد از نصب انجام شده است.
- تاییدیه کتبی از مدیر فنی (بیمارستان/مرکزداده) اخذ شده است.
- نصب آنتن‌ها در راهروها (نه داخل اتاق‌ها).
- توان خروجی آنتن‌های نزدیک تجهیزات حساس حداقل‌سازی شده است.

۱-۱۰-۴- الزامات رگولاتوری و قانونی

تمامی تجهیزات استفاده‌شده در این راه‌کارها، اعم از تقویت‌کننده‌ها، سیستم DAS و سلول‌های کوچک، باید دارای گواهی تایید نمونه از سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی بوده تا از نظر فنی و قانونی قابل بهره‌برداری باشد. هم‌چنین باید در خصوص حدود تشعشع و ایمنی پرتو، استاندارد ملی ایران به شماره ۸۵۶۷ رعایت شود.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از پنجاه سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر نهصد عنوان تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی، نشریه و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. آیین‌نامه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده است تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های ساخت و ساز کشور به کار برده شود. فهرست ضوابط و نشریه‌های منتشر شده در سال‌های اخیر در نشانی nezamfanni.ir برای عموم و به رایگان قابل دستیابی است.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

Islamic Republic of Iran

Plan and Budget Organization

Iran Radio Communications Regulations

Part 1: In-Building Radio Communication Solutions

IR-Code 700-1

Edition: 06-06-2026

Deputy of Technical, Infrastructure and Production Affairs

Department of Technical & Executive Affairs

nezamfanni.ir

Road, Housing & Urban Development Research Center

Department of Research

bhrc.ac.ir

Communications Regulatory Authority

Deputy for Radio Affairs

cra.ir

2026

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

این آیین‌نامه

با عنوان راه‌کارهای ارتباطات رادیویی درون‌ساختمانی، در راستای گردآوری راه‌کارهای تامین پوشش و ظرفیت شبکه تلفن همراه در فضاهای داخل ساختمان تدوین شده است. مطالب ضابطه در ده بخش شامل دامنه پوشش؛ تعاریف و اصطلاحات؛ مستندات بالادستی؛ ویژگی‌ها و مقایسه سلول‌ها؛ سیستم آنتن‌های توزیع‌شده (DAS)؛ تقویت‌کننده؛ تعیین منبع و فناوری توزیع سیگنال؛ توضیحات فنی راه‌کارهای IBS؛ فرآیند انجام کار و معرفی مقررات، تنظیم شده است. مطالب مورد بحث در هر بخش، متناسب با موضوع، دامنه کاربرد، الزامات فنی و اجرایی، مسئولیت عوامل، معیارهای طراحی و ضوابط رگولاتوری را دربر می‌گیرد و همراه با تصاویر، جداول و توضیحات لازم، جزئیات هر موضوع را بیان می‌کند.

omoorepeyman.ir