ارزیابی و بهینه‌سازی کیفیت خدمات شبکه‌های تلفن همراه با استفاده از شاخص‌های کلیدی عملکرد شبکه: مطالعه موردی شهر کرمان

محسن شیخ حسینی/ گروه پژوهشی کامپیوتر و فناوری اطلاعات/ پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی/ دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته/ کرمان– ایران/ m.sheikhhosseini@kgut.ac.ir

فتحیه دادبین/ کارشناس ارشد مهندسی برق–مخابرات/ شرکت مخابرات استان کرمان/کرمان– ایران/ fathieh738@yahoo.com

چکیده

فرایند ارزیابی و بهینه‌سازی کیفیت خدمات شبکه‌های ارتباطاتی تلفن همراه بر مبنای گزارش‌گیری روزانه از شاخص‌های کلیدی عملکرد شبکه، پردازش آن‌ها به‌منظور تعیین نقایص، مرتفع کردن معایب و تست شبکه جهت اطمینان از رفع نقص استوار است. روش مرسوم انجام تست بر مبنای آزمون رانندگی است که به‌دلیل نیازمندی به عوامل انسانی و تجهیزات، زمان‌بر و پرهزینه است. به‌منظور غلبه بر این محدودیت‌ها، در این مقاله یک روش نرم‌افزاری برای انجام آزمون تست پیشنهاد می‌شود که مبتنی بر یک قابلیت پیش‌بینی شده در نرم‌افزار OPTIMA است. بنابراین در یک مطالعه موردی عملکرد روش نرم‌افزاری پیشنهادی به‌همراه روش مبتنی بر آزمون رانندگی در شبکه تلفن همراه شهر کرمان مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. جامعه آماری نمونه ۷۰ سایت تلفن همراه می‌باشد که آزمون تست سایت‌های معیوب هم از طریق روش نرم‌افزاری پیشنهادی و هم توسط آزمون رانندگی انجام می‌پذیرد. بر مبنای نتایج حاصله مشخص می‌شود که هر دو روش در سنجش میزان رفع نقص عملکرد یکسانی دارند، این درحالی است که روش پیشنهادی علاوه بر حذف هزینه حضور فیزیکی افراد و تجهیزات، زمان اجرای آزمون را تقریبا به یک سوم کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی: تست رانندگی، سیستم جهانی ارتباطات سیار، شاخص‌های کلیدی عملکرد، کیفیت خدمات، نرم‌افزار OPTIMA.

QoS evaluation and optimization for mobile telecommunication networks using key performance indicators: a case study for kerman city

Mohsen Sheikh-Hosseini/ Asistant Professor, Department of Computer and Information Technology,Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences,Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran/m.sheikhhosseini@kgut.ac.ir

Fathieh Dadbin/ Master of Science, Electrical Engineering-Communications, Telecommunication Company of Iran, Kerman Province/ fathieh738@yahoo.com

ABSTRACT

Process of quality of service (Qos) evaluation and optimization for mobile telecommunication networks is consisted of daily collection of key performance indicators (KPI) reports, determination and fixing of defects, and network testing to ensure the omission of the defects. Drive test is common approach of testing which is time-consuming and expensive due to necessity for experts and equipment. To overcome these limitations, this paper proposes a new software-based testing method using OPTIMA software. Performance of the proposed method together with drive test approach have been studied and evaluated for the 70 BTS sites of Kerman GSM network as the statistical society. The results demonstrate that the proposed method provides performance similar to that of drive test for defect fixing. However, this software method not only removes the dependency to experts and equipment, but also reduces the testing time about one-third compared to the drive test.

Keywords: Drive test, Global system for mobile communication, Key Performance Indicators, Quality of service, OPTIMA software.

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]

۱- مقدمه

سیستم جهانی ارتباطات سیار (GSM)[۱] یک شبکه مخابراتی مبتنی بر ساختار سلولی است که با ایده‌ی تقسیم منطقه جغرافیایی به تعداد زیادی سلول و استفاده دوباره از منابع فرکانسی شبکه در این ساختار با هدف پوشش‌دهی تمام منطقه جغرافیایی شروع به کار کرد [۱-۳]. امروزه میلیون‌ها کاربر در سراسر جهان از سیستم‌های تلفن همراه بهره‌مند می‌باشند و بر مبنای اطلاعات پایگاه داده اتحادیه جهانی مخابرات شبکه سلولی تلفن همراه گسترده‌ترین شبکه استاندارد مخابراتی است که بیش از ۶ میلیارد مشترک را شامل می‌شود[۴].

ارایه خدمات مطلوب به این حجم وسیع از مشترکان در مرحله نخست مستلزم طراحی و پیاده‌سازی بهینه ساختار شبکه است و در مرحله بعد در گرو بهینه‌سازی منظم عملکرد شبکه می‌باشد[۱-۳]. بنابراین در مرحله طراحی تیم‌های مختلف مهندسی به‌منظور طراحی بهینه مکان و تجهیزات سایت‌ها و تخصیص منابع به آنها همکاری دارند[۵، ۶]. پس از پیاده‌سازی شبکه سلولی، عملکرد آن به‌صورت منظم بر مبنای معیارهایی همچون کیفیت خدمات[۲] و کیفیت تجربه[۳] مورد ارزیابی و بهینه‌سازی قرار می‌گیرد که در کیفیت خدمات هدف ارزیابی عملکرد بر مبنای شاخص‌های مختلف شبکه است ولی در کیفیت تجربه، تجربیات مشترکان ملاک قضاوت می‌باشد[۶، ۷]. در واقع بهینه‌سازی همان فرایند شناسایی و اصلاح مشکلات و نقایص موثر در کارایی و کیفیت عملکرد شبکه یا پروسه اصلاح یا تنظیم سخت‌افزاری و نرم‌افزاری پارامترهای مختلف شبکه در جهت دستیابی به بیشینه کیفیت خدمات می‌باشد[۷، ۸].

شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی و بهینه‌سازی کیفیت خدمات شبکه تحت عنوان شاخص‌های کلیدی عملکرد[۴] (KPI) شبکه شناخته می شوند. به طور کلی، بهینه‌سازی عملکرد شبکه بر مبنای این شاخص‌ها شامل گزارش‌گیری روزانه از این شاخص‌ها، پردازش آن‌ها به‌منظور مشخص کردن شاخص‌های خارج از محدوده استاندارد، صدور دستور رفع نقص و در نهایت انجام آزمون‌های تست جهت اطمینان از رفع نقایص و قرارگیری شاخص‌های مد نظر در محدوده استاندارد است. در این راستا فعالیت‌های پژوهشی قابل توجهی انجام پذیرفته است که برخی از آن‌ها نظیر [۹-۱۲] معطوف به کلیاتی همچون معرفی تکنیک‌های بهینه‌سازی و ارزیابی عملکرد و انجام آزمون رانندگی[۵] است و برخی دیگر همچون [۱۳-۲۱] به مطالعه موردی و عملی شبکه تلفن همراه در نقاط مختلف دنیا اختصاص دارد. به‌عنوان مثال کاربردهای مختلف آزمون رانندگی در ارزیابی کیفیت خدمات شبکه در [۹] مورد مطالعه قرار گرفته است و [۱۰] به ارایه راهکار برای کاهش هزینه عملیاتی این آزمون در نسل‌های جدید شبکه تلفن همراه اختصاص دارد. مقالات [۵] و [۱۱] نیز به نحوه ارزیابی عملکرد شبکه‌های مختلف تلفن همراه با استفاده از شاخص‌های کلیدی عملکرد شبکه اختصاص دارند. در [۱۲] ترکیب شاخص‌های کلیدی عملکرد با کیفیت تجربه کاربران برای بهبود عملکرد شبکه پیشنهاد شده است. در مطالعات موردی، [۱۳-۱۵] به ارزیابی عملکرد شبکه تلفن همراه کشور نیجریه بر مبنای شاخص‌های کلیدی آن اختصاص دارند و این ارزیابی برای کشورهای هندوستان، ترکیه، افغانستان و اندونزی به ترتیب در [۱۶]، [۱۷]، [۱۸] و [۱۹] ارایه شده است. در نهایت بهبود ترافیک شبکه تلفن همراه کشورهای نیجریه و هندوستان به ترتیب در [۲۰] و [۲۱] گزارش شده است.

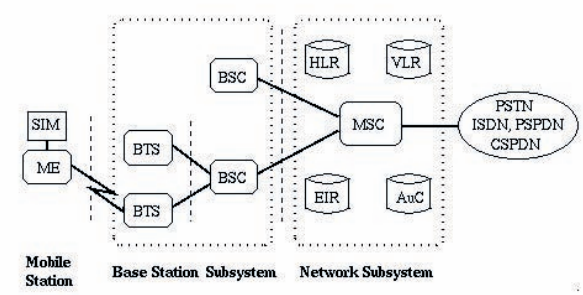
این مقاله به ارزیابی و بهینه‌سازی کیفیت خدمات سیستم جهانی ارتباطات سیار کشور ایران با استفاده از شاخص‌های کلیدی عملکرد شبکه اختصاص دارد. در این تحقیق پیشنهاد می‌شود که روش مرسوم آزمون تست رفع نقایص که در حال حاضر مبتنی بر آزمون سخت‌افزاری رانندگی است، با روش نرم‌افزاری مبتنی بر نرم‌افزار OPTIMA جایگزین شود. لازم بذکر است که نرم‌افزار OPTIMA یک نرم‌افزار یکپارچه برای مدیریت شبکه است که در حال حاضر شبکه تلفن همراه کشور توسط آن مدیریت و برنامه‌ریزی می‌شود. از این‌رو در یک مطالعه موردی، عملکرد این دو روش تست در ۷۰ سایت تلفن همراه از شبکه شهر کرمان مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرد. پس از صدور دستور رفع نقص و مرتفع شدن مشکل، آزمون تست رفع نقص سایت‌های معیوب هم از طریق روش نرم‌افزاری پیشنهادی و هم توسط آزمون رانندگی انجام می پذیرد. بر مبنای نتایج حاصله مشخص می‌شود که هر دو روش در سنجش میزان رفع نقص، عملکرد تقریبا یکسانی دارند، این درحالی است که روش پیشنهادی علاوه بر حذف هزینه حضور فیزیکی افراد و تجهیزات، متوسط زمان اجرای آزمون تست را از سه ساعت به یک ساعت کاهش می‌دهد.

ادامه ساختار مقاله بدین صورت می‌باشد که قسمت بعد به معرفی مفاهیم مرتبط با این کار پژوهشی اختصاص دارد. قسمت سوم این مقاله معطوف به معرفی الگوریتم نرم‌افزاری پیشنهادی و ارزیابی عملکرد آن می‌باشد و در نهایت جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مقاله در قسمت آخر ارایه می‌شود.

۲- سیستم جهانی ارتباطات سیار و بهینه سازی

۲-۱-ساختار سیستم جهانی ارتباطات سیار

ساختار سیستم جهانی ارتباطات سیار در شکل (۱) نمایش داده شده است که شامل سه بخش واحد سیار (MS)[۶]، زیرسیستم ایستگاه پایه (BSS)[۷] و زیرسیستم شبکه (NS)[۸] می‌باشد. واحد سیار یا مشترک شامل سیم کارت (SIM)[۹] و دستگاه تلفن همراه (ME)[۱۰] است و زیرسیستم ایستگاه پایه از دو زیربخش BTS[۱۱] و BSC[۱۲] تشکیل شده است که در اصطلاح به ترتیب سایت و مرکز کنترل سایت نامیده می شوند. در پایان زیر بخش شبکه سیستم شامل چندین زیربخش مختلف است که مهمترین آن‌ها مرکز کلیدزنی موبایل (MSC)[۱۳] است که به‌عنوان قلب شبکه محسوب می‌شود. همچنین فعالیت سایر اجزاء زیرسیستم شبکه که در شکل (۱) نمایش داده شده‌اند معطوف به ثبت اطلاعات مشترکان و تعیین هویت آن‌ها، اطلاعات سیم‌کارت‌ها و دستگاه‌های تلفن همراه می‌باشد.



شکل ۱: ساختار کلی سیستم جهانی ارتباطات سیار [۲۲]

در ساختار سلولی هر سلول شبکه به یک BTS تجهیز می‌شود که شامل چندین سکتور است و هر سکتور شامل تجهیزاتی همچون چندین فرستنده و گیرنده رادیویی است و وظیفه اصلی آن برقراری ارتباط رادیویی مشترکان با سایر اجزا شبکه می‌باشد. چندین BTS یا سایت توسط یک مرکز کنترل سایت یا BSC مدیریت و کنترل می‌شوند که وظیفه اصلی مرکز کنترل سایت برقراری ارتباط سایت‌ها

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]

با زیرسیستم شبکــه می‌باشد. در نهایت هر چندین BSC توسط یک مرکــز کلیدزنــی MSC مدیریت و کنترل می‌شونــد و ارتباط آن‌ها با سایــر اجزا شبکه و سایر شبکه ارتباطاتــی همچون شبکه تلفن ثابت از طریق ایــن مرکز کلیدزنی برقرار می‌شود[۲۲]. لازم بذکر است که علاوه بر بخش‌های مذکور، معمولا هر شبکه GSM مبتنی بر واحدی بنــام مرکز نگهداری و پشتیبانی (OMC)[۱۴] است که در برخی مراجع به‌عنــوان یــک قسمت مستقل محســوب می‌شــود و در برخی دیگر به‌عنــوان یک زیربخش زیرسیستم شبکه محسوب می‌شود که وظیفه اصلــی آن مانیتورینگ مداوم و بهینه‌ســازی عملکرد شبکه و تمامی تجهیزات مربوطه به‌منظور دستیابی به کیفیت خدمات بهتر و افزایش ضریب امنیتی و حفاظتی شبکه است[۲۲].

۲-۲-شاخص‌های کلیدی عملکرد شبکه

شاخص‌های کلیدی عملکرد شبکــه به‌طور معمول برمبنای اطلاعات واصلــه از شمارشگرهــای مختلفی که در قسمت‌هــای مختلف شبکه نصب شده است محاسبه و گزارش می‌شوند. مهمترین این شاخص‌ها عبارتند از [۵، ۲۳]:

- نــرخ موفقیــت در برقراری مکالمــه (CSSR)[۱۵]: این شاخص معرف درصــد موفقیت در اختصاص کانال ترافیکی به تقاضاهایی است که صرفا برای برپایی مکالمه درخواست شده است.
- نرخ قطعی مکالمه (CDR)[۱۶]: این شاخص معرف درصد تداوم ارتباط است و قطعی مکالمه می‌تواند به دلیل پایین بودن قدرت و کیفیت سیگنال یا تداخل حاصل از نزدیک بودن کانال فرکانسی باشد.
- نــرخ مسدود بودن کانــال ترافیکــی (TCHCR)[۱۷]: شاخص مسدود بــودن کانال ترافیکــی بیانگر درصد بــاز درخواست‌های اختصاص کانال ترافیکی است که به دلیل وجود نداشتن کانال ترافیکی آزاد، مسدود شده‌اند.
- نــرخ موفقیــت در جابجایی بیــن سلولــی (HSR)[۱۸]: معرف درصد موفقیــت شبکــه در مدیریت جابجایــی مکالمــات مشترکان بین سلول‌های مختلف شبکه است.
- قــدرت آنتن‌دهــی (RX Level): این شاخص بــه اندازه‌گیری توان سیگنــال دریافتــی کاربران در نقــاط مختلف سایــت می‌پردازد و می‌توانــد به‌عنوان معیــاری از میزان پوشش‌دهــی سایت مربوطه توسط BTS محسوب شود.
- کیفیــت آنتن‌دهــی (RX Quality): ایــن شاخص معــرف کیفیت سیگنال دریافتــی در سایت‌ها است و به‌صورت مستقیم با احتمال خطای سیستم در ارتباط است.

۲-۳- فرایند ارزیابی و بهینه‌سازی شبکه

رونــد کلی فرایند ارزیابی و بهینه‌ســازی کیفیت خدمات شبکه بدین شرح اســت که واحد نگهداری و پشتیبانی به‌صــورت روزانه نسبت به گزارش‌گیــری و جمع‌آوری اطلاعات سایت‌هــا و مراکز کنترل سایت اقدام می نمایــد. در مرحله بعد شاخص‌های کلیــدی عملکرد شبکه از ایــن اطلاعــات استخــراج می‌شود و بــا پردازش ایــن شاخص‌ها، سایت‌هایی کــه شاخص‌های آن‌ها خارج از محــدوده استاندارد باشد مشخــص می‌شوند و برای آن‌ها دستور رفع نقــص صادر می‌شود که ایــن دستور می‌تواند نرم‌افــزاری و یا سخت‌افزاری باشد. رفع نقص در حالت نرم‌افزاری بدون دخالت عوامل انسانی و از طریق نرم‌افزار انجام می‌پذیرد، اما رفع نقص سخت‌افــزاری مبتنی بر حضور فیزیکی افراد در سایت‌هــای مشکل‌دار و رفع نقایص است. در نهایت آخرین مرحله پروسه بهینه‌سازی انجام آزمــون تست جهت اطمینان از رفع نقایص و قرارگیری شاخص‌های کلیدی عملکرد شبکه در محدوده استاندارد می‌باشد.

روش معمــول انجــام آزمون تست بر مبنای آزمــون میدانی رانندگی اســت که این آزمون با یک وسیله نقلیــه مجهز سیستم تست شامل وسایلــی همچون دستگاه تلفن همراه، دستگــاه موقعیت‌یاب، رایانه و نرم‌افزاری مربوطه جهت پردازش و استخراج اطلاعات انجام می‌پذیرد. روش کار به این صورت است که کارشناس مربوطه با وسیله نقلیه در مسیــر از قبل مشخص شده در محدوده سایت مدنظر حرکت می‌کند و بــا برقراری مکالمه و پــردازش اطلاعات نسبت بــه تشخیص نقاط نداشتــن پوشش و یا دارای پوشش ضعیــف اقدام می‌نماید [۱۰-۱۵، ۲۳-۲۴].

۳- الگوریتم پیشنهادی و ارزیابی نتایج

در این قسمت ابتدا فرایند بهینه‌سازی عملکرد شبکه کشور با استفاده از شاخص‌هــای کلیدی عملکرد معرفی و یــک روش نرم‌افزاری برای انجام آزمون تست آن پیشنهاد می‌شود. در انتها نتایج ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی ارایه می‌گردد.

۳-۱-الگوریتم پیشنهادی

فراینــد ارزیابی و بهینه‌سازی عملکــرد شبکه تلفن همراه کشور ایران بدیــن صورت است که یــک مرکز مجهز به سیستم‌هــای رایانه‌ای با قــدرت پــردازش بــالا به‌صــورت روزانه نسبــت بــه گزارش‌گیری و جمع‌آوری اطلاعات شبکــه تمامی استان‌های کشور اقدام می‌کند. بر مبنای این گــزارش، شاخص‌های کلیدی عملکرد شبکه کشور توسط نرم‌افــزار یکپارچه مدیریت شبکــه در این مرکــز محاسبه می‌شوند. در شــروع سیکل کاری روزانــه، مراکز نگهــداری و پشتیبانی شبکه در اقصــی نقاط کشــور از طریق این نرم‌افزار بــه جدول شاخص‌های کلیــدی عملکــرد متعلق به یک روز قبــل از سایت‌های تحت کنترل خود دسترسی خواهنــد داشت و با پردازش این شاخص‌ها، نسبت به شناسایی سایت‌های با شاخص‌های خارج از محدوده استاندارد و صدور دستــور رفع نقص آن‌ها اقدام می‌نمایند. برای رفع نقص سخت‌افزاری کارشنــاس مربوطه به سایــت مراجعه و طبق دستــور نسبت به رفع مشکــل اقــدام می‌نماید. در مرحله آخر بــرای اطمینان از رفع نقص، اطلاعــات عملکردی سایت مربوطه توسط آزمون رانندگی استخراج و بــه مرکز نگهداری و پشتیبانــی ارسال می‌شود و این مرکز با پردازش اطلاعــات نسبت به میزان بهبــود عملکرد شبکه قضاوت می‌کند و در صورت لــزوم، دوباره دستور رفع نقص صــادر می‌کند و این فرایند تا حصول اطمینان از عملکرد بهینه شبکه ادامه می‌یابد.

لازم به‌ذکــر است که آزمون رانندگی کشــور ایران مبتنی بر سنجش دو شاخــص قدرت آنتن‌دهــی (RX Level) و کیفیت آنتن‌دهی (RX Quality) اســت کــه بر مبنای جــدول (۱)، وضعیــت پوشش‌دهی و کیفیــت مکالمه شبکه به چهار صورت عالی، خوب، متوسط و ضعیف گزارش می‌شود. خروجی آزمون رانندگی نیز شامل یک ترسیم رنگی از موقعیــت مکانــی نقطه مدنظر است که رنــگ آن طبق جدول (۱) بــر مبنای مقادیر این دو شاخص به‌صــورت سبز، زرد، نارنجی و قرمز می‌باشــد کــه به‌ترتیب معــرف وضعیت‌های عالی، خــوب، متوسط و ضعیف می‌باشنــد. همان‌طورکه در جدول(۱) نمایش داده شده است سطــح سیگنال دریافتی بر مبنــای واحد dBm اندازه‌گیری می‌شود و کیفیت سیگنال دریافتــی در واقع معرف نرخ خطای بیت در مقیاس ۰ تا ۷ می‌باشد.

آزمون تست رانندگــی از محدودیت‌هایی برخوردار است که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نکته نخست در محدودیــت تعداد کارشناسان خبره انجام آزمون و نیازمنــدی به حضور کارشناس در محــل مربوطه و انجام چندباره

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]

آزمـون تا رفع کامل نقص اسـت. زیرا هر مرکـز نگهداری وظیفه سرویس‌دهـی به تعـداد زیـادی سایـت را دارد و از طرفی تعداد کارشناسـان این مرکز محدود اسـت، از این‌رو در حالتی که تعداد سایت‌هـای معیوب زیاد باشد به‌علت کمبـود نیروی انسانی امکان رفع نقص تمام سایت‌ها یا وجود ندارد یا دست‌کم رفع نقص بسیار زمانبر است.

- نکتـه بعـدی در وابستگی آزمـون تست به سیستم‌هـای مختلف سخت‌افـزاری و نرم‌افزاری از یک طرف و ارتباط مستمر کارشناس آزمون تست و مرکز نگهـداری و پشتیبانی از طرف دیگر است که هر گونه نقص در هر کدام از این موارد می‌تواند انجام آزمون تست را با اختلال همراه کند.
- چالش مهـم دیگر در زمان انجام آزمون تسـت رانندگی برای رفع نقـص هر سایت است کـه این ماموریت به‌طـور معمول برای یک سایـت واقع شده در داخل بافت شهری بین ۲ تا ۴ ساعت به طول می‌انجامد. امـا در حالتی که رفع نقص مربوط به سایت‌های خارج از محـدوده شهری نظیر جاده‌هـا باشد، باید مدت زمان رسیدن به نقطه‌ی مورد نظر نیز به این زمان دو تا چهار ساعته اضافه شود.
- نکتـه دیگر در لزوم پیوستگـی ارتباط در زمان انجام آزمون است و درصورت قطعـی مکالمه باید آزمون دوبـاره از نقطه قطع مکالمه آغاز شود.

جدول ۱: مبنای تعیین وضعیت و میزان رفع نقص در آزمون رانندگی

وضعیت	رنگ معادل	RX Lev (dBm)	RX Qual
عالی	سبز	-۷۰<RxLev< -۱۰	۰< RxQual < ۲
خوب	زرد	-۹۰< RxLev <-۷۰	۲< RxQual < ۴
متوسط	سبز پررنگ	-۱۰۰<RxLev<-۹۰	۴< RxQual <۶
ضعیف	قرمز	-۱۱۰<RLev<۱۰۰-	۶ < RxQual < ۷

بنابراین با توجه بـه اینکه اطلاعات شاخص‌های کلیدی شبکه که در دسـترس کاربر مرکز نگهـداری و پشتیبانی شبکه متعلق به روز قبل است، اگر پس از رفع نقص به هر دلیلی آزمون تست انجام نشود، این کاربر امکان قضاوت راجع به سنجش میزان رفع نقص را ندارد و باید تا فـردای آن روز صبر کند و بر مبنای شاخص دریافتی جدید نسبت به آن قضـاوت و در صورت لزوم دستور جدید رفع نقص صادر نماید. در این صورت ممکن است رفع نقص یک سایت چندین شبانه روز طول بکشد کـه این امر کاملا نامطلوب است و کاهش رضایت مشترکان را بدنبال دارد.

اگـر چه نرم‌افـزار OPTIMA به‌صـورت روزانه جـدول شاخص‌های کلیـدی عملکرد کـل شبکه متعلق به روز ماقبـل را در اختیار مراکز نگهـداری و پشتیبانـی قرار می‌دهـد و قابلیت دسترسـی به جدول شاخص‌هـای کلیدی عملکرد کل سایت‌های تحت مدیریت این مراکز در بـازه زمانی کمتر از یـک روز را برای آن‌ها فراهم نمی‌کند، اما این نرم‌افـزار این امکان را برای این مراکـز فراهم می‌کند که به اطلاعات یـک سایت خاص از حوزه تحت مدیریت خود در بازه‌های زمانی یک ساعتـه دسترسی داشته باشند. متاسفانه در حال حاضر از این قابلیت در شبکـه تلفن همراه کشور استفاده نمی‌شـود، از این‌رو در این کار پژوهشـی پیشنهاد می‌شود کـه با فعال کردن ایـن قابلیت، کاربران مراکـز نگهداری و پشتیبانـی شبکه یک ساعت پس از رفع نقص یک سایت خـاص، دوباره از طریق نرم‌افزار OPTIMA نسبت به استخراج شاخص‌های کلیدی عملکرد آن سایت اقدام نمایند و پس از پردازش مربوطه در صورت لزوم دوباره دستور رفع نقص را صادر نمایند. واضح اسـت که با توجه به بازه زمانی یک ساعته مورد نیاز، این روش ضمن حـذف هزینه حضور فیزیکی عوامل انسانی و تجهیزات، امکان کاهش زمـان اجرای آزمون تست را نیز فراهم می‌آورد. به‌منظور صحه‌گذاری بـر این مزایـا، در ادامه عملکرد این روش پشنهـادی به‌همراه آزمون تسـت رانندگـی در شبکه تلفن همـراه شهر کرمان مـورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرد.

۳-۲-ارزیابی نتایج: مطالعه شبکه تلفن همراه شهر کرمان

در ایـن تحقیـق شاخص‌هـای نـرخ موفقیـت در برقـراری مکالمه (CSSR)، نـرخ قطعـی مکالمـه (CDR) و نرخ مسدود بـودن کانال ترافیکـی (TCHCR)، برای ارزیابی و بهینه‌سازی عملکرد شبکه مورد مطالعـه انتخاب شده اند کـه محدوده استاندارد مدنظـر برای آن‌ها به ترتیـب عبارتنـد از: CSSR≥98%، CDR≤2% و TCHCR≤2%. روش کار بدین صورت است که ابتدا با گزارش‌گیری از شبکه، جدول شاخص‌هـای کلیـدی عملکرد سایت‌هـای جامعه آمـاری استخراج می‌شـود. لازم به ذکر است که جدول شاخص‌هـای کلیدی عملکرد بـرای هر سکتور شبکه شامل یک جـدول مبتنی بر ۵۰ ستون و ۲۴ سطـر می‌باشد که هر ستون معرف اطلاعاتـی خاص همچون مقادیر پارامترهـای کلیدی عملکرد شبکه و اطلاعات مکانی آن سکتور است و هر سطر این جدول این اطلاعات را برای یک بازه زمانی یک ساعته از شبانـه‌روز مدنظر نمایش می‌دهد. در ایـن مقاله به‌علت کمبود جا فقط بـه برش‌هایی از این جداول اکتفا شده است که حاوی اطلاعات مدنظر تحقیق می‌باشند.

مرحله بعد پردازش این اطلاعات برای تمامی سایت‌های تحت کنترل در جامعـه آماری نمونه و تعیین سایت‌های معیوب با مقادیر شاخص خارج از محدوده استانـدارد است. روش مرسوم در تعیین سایت‌های معیوب نیز مبتنی بر عملکرد آن سایت در ساعت‌های اوج شبکه است و مقـدار شاخص‌ها در این ساعت‌ها ملاک قضاوت قرار می‌گیرد. لازم به‌ذکر است که معمولا برای هر شبانه‌روز دو ساعت اوج در نظر گرفته می‌شود که عبارتند از بازه زمانـی ۱۱:۰۰-۱۰:۰۰ و ۲۰:۰۰-۱۹:۰۰. البتـه ممکن است بـر مبنای تغییر فصول این دو بـازه زمانی اندکی متفاوت در نظر گرفته شوند. برای تعیین تمامی نقاط معیوب، جدول شاخص‌هـای کلیدی عملکرد تمام جامعه آماری بر اساس ساعت‌های اوج شبکه فیلتر می‌شود و خروجی ملاک قضاوت قرار می‌گیرد.

جـدول (۲) این خروجی را برای یک شبانه روز از جامعه آماری نشان می دهد. همان‌گونه‌که ملاحظه می‌شود تعداد کل سایت‌های معیوب در ایـن شبانـه‌روز برابر با ۱۴عدد می‌باشد کـه شاخص‌های خارج از محدوده استاندارد آن‌ها با رنگ تیره‌تری مشخص شده‌اند. همچنین بر طبق این جدول، عملکرد برخی سکتورها نظیر سکتورهای شماره ۲۰ و ۳۲ فقـط در یکـی از ساعت‌های اوج قبل از ظهر یا بعدازظهر خارج از محـدوده استاندارد گزارش شده اسـت. دلیل این امر در این است که ممکن است میزان ترافیک این سکتورها در این دو ساعت متفاوت باشد یا اینکه در بازه زمانی بین این دو ساعت اوج نقص یا رفع نقصی در سکتـور مدنظر رخ داده است. از طرف دیگر عملکرد سکتور شماره ۸۷ در هـر دو ساعت اوج قبل از ظهـر و بعدازظهر خارج از محدوده استانـدارد گزارش شده است که می‌تواند به‌دلیل ترافیک زیاد این دو ساعت یا رفع نکردن نقص آن باشد.

مرحله بعد صدور دستور رفع نقص نقاط معیوب می‌باشد که محتویات آن با توجـه به اینکه اصلاح کدام شاخـص مدنظر می‌باشد متفاوت است. به‌عنوان مثال به‌طور معمول اصلاح شاخص موفقیت در برقراری مکالمه با دستور بررسی موجب رها و گرفتن برگشتی آنها همراه است و برای شاخص نرخ قطعی مکالمه دستور بررسی زاویه آنتن سکتور و

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]

تغییر زاویه پوشش صادر می‌شود.

جدول ۲: استخراج جدول شاخص‌های کلیدی عملکرد تمامی سایت‌های معیوب در یک شبانه روز

CDR	TCHCR	CSSR	شماره سکتور	تاریخ و زمان	استان
۳/۱	۳/۱۹	۸۰/۱	۱۲	۲۰۱۷/۳/۱۱-۱۹	کرمان
۳/۳۲	۱/۵۶	۸۳/۰۵	۲۰	۲۰۱۷/۳/۱۱-۱۹	کرمان
۳/۵	۴/۱۳	۸۵	۳۲	۲۰۱۷/۳/۱۱-۱۰	کرمان
۴	۴/۱	۸۴	۵۶	۲۰۱۷/۳/۱۱-۱۰	کرمان
۲/۶	۱/۹	۷۰/۹	۷۰	۲۰۱۷/۳/۱۱-۱۹	کرمان
۳/۸	۳/۴۳	۷۵/۳۲	۸۴	۲۰۱۷/۳/۱۱-۱۰	کرمان
۳/۹	۴/۸	۸۶/۳	۸۷	۲۰۱۷/۳/۱۱-۱۰	کرمان
۳/۶	۵/۱	۸۱	۸۷	۲۰۱۷/۳/۱۱-۱۹	کرمان
۲/۹۸	۳/۶۵	۷۴/۲	۹۵	۲۰۱۷/۳/۱۱-۱۰	کرمان
۳/۶۵	۳/۱	۷۹/۴	۱۲۳	۲۰۱۷/۳/۱۱-۱۹	کرمان
۳/۲۸	۵/۴	۷۸/۵۸	۱۳۲	۲۰۱۷/۳/۱۱-۱۹	کرمان
۲/۹۹	۳/۲۶	۸۱/۱	۱۳۸	۲۰۱۷/۳/۱۱-۱۹	کرمان
۲/۷۵	۱/۴۵	۶۹	۱۵۱	۲۰۱۷/۳/۱۱-۱۰	کرمان
۳/۶۴	۴/۳۲	۸۳/۰۱	۱۷۸	۲۰۱۷/۳/۱۱-۱۰	کرمان
۳/۸۵	۴/۷۱	۷۴	۱۷۹	۲۰۱۷/۳/۱۱-۱۹	کرمان

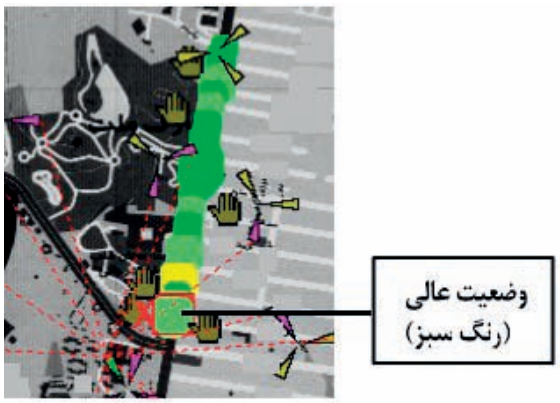
در پایان پس از رفع نقص، آزمون تست تمامی نقاط جدول (۲) هم به روش مرسوم آزمون رانندگی و هم توسط روش پیشنهادی نرم‌افزاری انجام می پذیرد. به‌عنوان نمونه شکل‌های(۲) و(۳) به ترتیب معرف نتایج آزمون میدانی رانندگی برای سکتورهای شماره ۱۲ و ۸۷ می‌باشند. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود ناحیه تحت پوشش سکتور ۱۲ در شکل (۲) سبزرنگ نمایش داده شده است که این به معنای موفقیت‌آمیز بودن رفع نقص است. اما رنگ ناحیه سکتور شماره ۸۷ در قسمت بالای شکل(۳) قرمز رنگ است و در قسمت پایین این شکل سبزرنگ می‌باشد. این بدان معنی است که پس از نخستین رفع نقص مشکل این سکتور برطرف نشده است، از این‌رو دوباره دستور رفع نقص دیگری صادر شده است که منجر به نرمال شدن وضعیت این سکتور شده است.

از طرف دیگر نتایج آزمون نرم‌افزاری پیشنهادی برای سکتور های شماره ۱۲ و ۸۷ در جدول‌های (۳) و (۴) نمایش داده شده‌اند که در واقع بر مبنای گزارش‌گیری از نرم‌افزار OPTIMA یک ساعت پس از رفع نقایص استخراج شده‌اند. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود نتایج روش نرم‌افزاری پیشنهادی در سنجش میزان رفع نقص مشابه با نتایج آزمون رانندگی است و همان‌طور که نتایج آزمون رانندگی معرف موفقیت‌آمیز بودن رفع نقص سکتور شماره ۱۲ بود، مقادیر شاخص‌های کلیدی عملکرد این سکتور در جدول (۳) نیز تاییدکننده این مطلب است. مقادیر شاخص‌های کلیدی عملکرد جدول (۴)نیز بیانگر این مطلب است که رفع نقص سکتور شماره ۸۷ در مرحله نخست موفقیت‌آمیز نبوده است و عملکرد این سکتور در رفع نقص دوباره نرمال شده است.

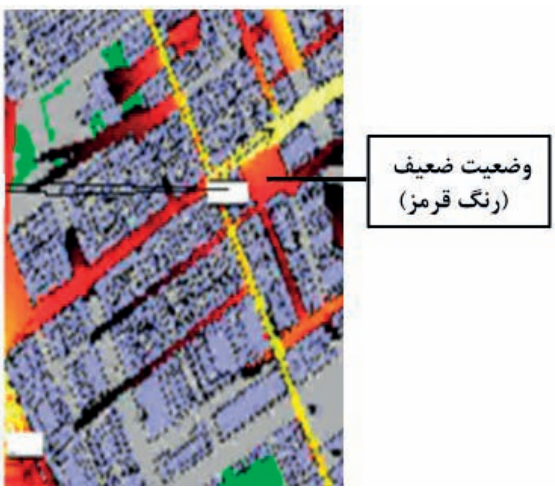
جدول ۳: خروجی آزمون پیشنهادی برای سکتور شماره ۱۲

CDR	TCHCR	CSSR	شماره سکتور	تاریخ و زمان	استان
۱/۰۸	۱/۸	۹۸/۲	۱۲	۲۰۱۷/۳/۱۲-۱۲	کرمان

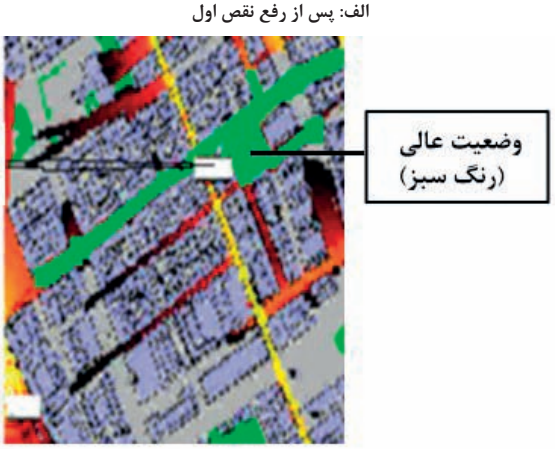
جدول (۵) معرف مقادیر شاخص‌های کلیدی عملکرد ۱۴ سکتور معیوب جدول (۲) در ساعت اوج شبانه‌روز بعد است و همان‌طور که ملاحظه می‌شود در مقایسه با جدول (۲) درصد زیادی از شاخص‌ها در محدوده استاندارد قرار گرفته‌اند و عملکرد شبکه در مجموع بهبود یافته است. لازم بذکر است اصلی‌ترین دلیل عدم قرارگیری برخی شاخص‌های جدول (۵) در محدوده استاندارد ناشی از گزارش‌گیری در ساعت اوج مصرف است. البته ممکن است همچنان برخی نقایص روز قبل به‌صورت بهینه مرتفع نشده باشند که این امر با گزارش‌گیری از سایت‌ها در طی چند روز متوالی مشخص می‌شود. به‌عنوان مثال شکل (۴) روند بهبود عملکرد سکتور شماره ۱۲ در طی چهار روز متوالی را نمایش می‌دهد. همان‌طورکه مشخص است نتایج معرف این است که پس از رفع نقص صورت‌پذیرفته، عملکرد این سکتور خاص در محدوده نرمال قرار گرفته است.



شکل ۲: خروجی آزمون رانندگی برای سکتور شماره ۱۲



الف: پس از رفع نقص اول



ب: پس از رفع نقص دوم

شکل ۳: خروجی آزمون رانندگی برای سکتور شماره ۷۸

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]

جدول ۴: خروجی آزمون پیشنهادی برای سکتور شماره ۷۸

الف: رفع نقص اول

CDR	TCHCR	CSSR	شماره سکتور	تاریخ و زمان	استان
۳/۱	۴	۸۹	۸۷	۲۰۱۷/۳/۱۲-۱۰	کرمان

ب: رفع نقص دوم

CDR	TCHCR	CSSR	شماره سکتور	تاریخ و زمان	استان
۱/۸	۱/۵	۹۸	۸۷	۲۰۱۷/۳/۱۲-۱۲	کرمان

جدول ۵: جدول شاخص‌های کلیدی عملکرد سایت‌های معیوب یک شبانه روز پس از رفع نقص

CDR	TCHCR	CSSR	شماره سکتور	تاریخ و زمان	استان
۱/۹۵	۲/۵	۹۸/۱	۱۲	۲۰۱۷/۳/۱۳-۱۰	کرمان
۲/۴	۱/۳۹	۹۷/۱	۲۰	۲۰۱۷/۳/۱۳-۱۰	کرمان
۲	۰/۵۸	۹۵/۳	۳۲	۲۰۱۷/۳/۱۳-۱۰	کرمان
۲/۱	۱/۰۲	۹۶/۱	۵۶	۲۰۱۷/۳/۱۳-۱۰	کرمان
۳/۳	۱/۷۸	۹۳/۱	۷۰	۲۰۱۷/۳/۱۳-۱۰	کرمان
۰	۲/۱۵	۹۹/۰۳	۸۴	۲۰۱۷/۳/۱۳-۱۰	کرمان
۱/۹	۱/۷۸	۹۸/۵	۸۷	۲۰۱۷/۳/۱۳-۱۰	کرمان
۱/۲	۲/۳۶	۹۸/۵۲	۹۵	۲۰۱۷/۳/۱۳-۱۰	کرمان
۰/۵۷	۱/۸	۹۴	۱۲۳	۲۰۱۷/۳/۱۳-۱۰	کرمان
۲/۲۲	۱/۹	۹۷	۱۳۲	۲۰۱۷/۳/۱۳-۱۰	کرمان
۱/۱۱	۱/۷	۹۵/۱۲	۱۳۸	۲۰۱۷/۳/۱۳-۱۰	کرمان
۲/۵	۱/۱	۹۵	۱۵۱	۲۰۱۷/۳/۱۳-۱۰	کرمان
۲/۴	۱	۹۹/۰۱	۱۷۸	۲۰۱۷/۳/۱۳-۱۰	کرمان
۰/۷۸	۱/۳۲	۹۸/۶	۱۷۹	۲۰۱۷/۳/۱۳-۱۰	کرمان

نتایج ارایه شده تاکنون فقط مربوط به سنجش میزان توانایی دو روش آزمون تست در میزان رفع نقایص بود، در این قسمت این دو آزمون از منظر زمان لازم برای انجام آزمون تست مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرند. زمان لازم برای انجام آزمون تست رانندگی سایت‌های معیوب جدول (۲) در جدول(۶) گزارش ذکر شده است. همان‌طورکه قابل پیش‌بینی بود با توجه به اینکه روش پیشنهادی نرم‌افزاری مبتنی بر گزارش‌گیری از نرم‌افزار OPTIMA دقیقا یک ساعت پس از رفع نقص است، از این رو زمان انجام آن برای تمامی آزمون‌ها برابر با ۶۰ دقیقه است. اما همان‌طورکه از جدول (۶) مشخص است زمان آزمون تست رانندگی برای همه آزمون‌ها خیلی بیشتر از یک ساعت است که میانگین آن برابر با ۱۵۰ دقیقه است.

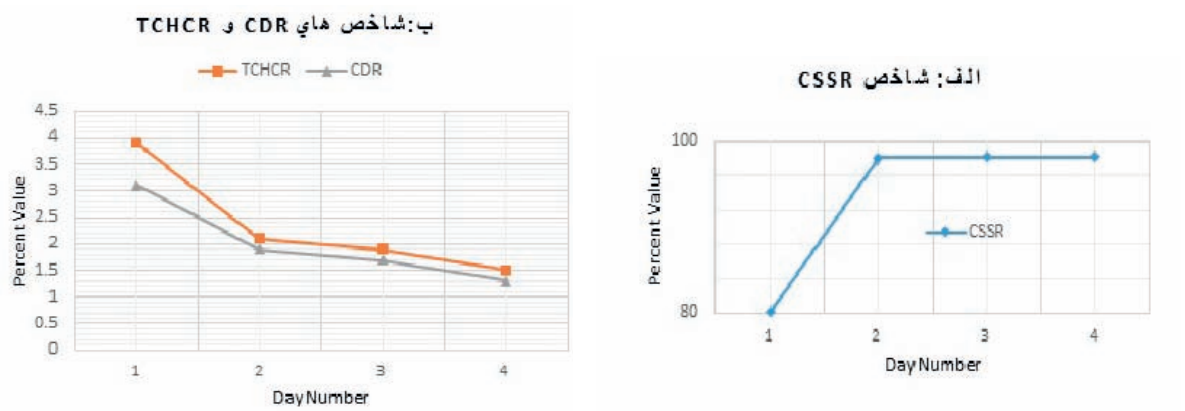
جدول ۶: زمان انجام آزمون تست رانندگی برای سکتورهای معیوب جدول ۲ (بر حسب دقیقه)

شماره سکتور	تعداد آزمون	متوسط زمان انجام آزمون تست
۱۲	یکبار	۲۴۰
۲۰	یکبار	۷۰
۳۲	یکبار	۱۵۰
۵۶	یکبار	۹۰
۷۰	یکبار	۱۱۰
۸۴	یکبار	۱۹۵
۸۷	دوبار	۸۰
۹۵	یکبار	۲۲۵
۱۲۳	یکبار	۲۷۰
۱۳۲	یکبار	۴۵
۱۳۸	عدم انجام	-
۱۵۱	عدم انجام	-
۱۷۸	یکبار	۲۱۰
۱۷۹	یکبار	۱۲۰

اما با توجه به اینکه زمان‌های ارایه شده در جدول (۶) متعلق به آزمون تست یک شبانه روز خاص بود، قضاوت در رابطه با متوسط زمان تست مورد نیاز در این دو روش بر این مبنا عادلانه نیست. بنابراین در این تحقیق عملکرد شبکه در یک بازه زمانی چندین شبانه روزه مورد ارزیابی قرار گرفته است و میانگین عملکرد این دوره زمانی به‌عنوان ملاک عملکرد قرار گرفته است. برای این منظور متوسط زمان اجرای آزمون تست به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$T_{test} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} T_{test}^{i} = \frac{1}{NM}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M^i} T_{test}^{i,j} \quad (1)$$

که T_{test}، T_{test}^{i} و $T_{test}^{i,j}$ به ترتیب متوسط زمان اجرای آزمون تست، متوسط زمان اجرای آزمون تست شبانه روز iام و زمان لازم



شکل ۴: نمودار بهبود عملکرد سکتور شماره ۱۲ در طی چهار روز متوالی الف: شاخص CSSR ب: شاخص‌های CDR و TCHCR

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]

برای انجام آزمون jام از شبانه‌روز iام است. N و M^i نیز به ترتیب معرف تعداد شبانه‌روزهای انجام آزمون و تعداد دفعات انجام آزمون رفع نقص در شبانه‌روز iام می‌باشد.

متوسط زمان انجام آزمون تست برای یک بازه ۱۰ شبانه‌روزی در جدول(۷) نمایش داده شده است. بر مبنای نتایج این جدول متوسط زمان آزمون تست رانندگی برابر با ۱۷۵ دقیقه محاسبه می‌شود که تقریبا سه برابر متوسط زمانی یک ساعته مورد نیاز آزمون نرم‌افزاری پیشنهادی است.

جدول ۷: مقایسه متوسط زمان انجام آزمون تست (بر حسب دقیقه)

ترتیب شبانه‌روز	زمان متوسط روزانه آزمون رانندگی: T^i test	زمان متوسط روزانه آزمون پیشنهادی: T^i test
۱	۱۵۰	۶۰
۲	۲۰۰	۶۰
۳	۱۵۷	۶۰
۴	۱۹۵	۶۰
۵	۱۷۲	۶۰
۶	۱۹۵	۶۰
۷	۱۳۵	۶۰
۸	۱۸۰	۶۰
۹	۱۷۵	۶۰
۱۰	۱۹۰	۶۰

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، عملکرد شبکه GSM کشور بر مبنای شاخص‌های کلیدی عملکرد شبکه مورد ارزیابی و بهینه‌سازی قرار گرفت و در این راستا یک روش جدید مبتنی بر نرم‌افزار OPTIMA برای تست رفع نقص شبکه پیشنهاد شد. عملکرد روش نرم‌افزاری پیشنهادی به همراه روش سخت‌افزاری مبتنی بر آزمون رانندگی در شبکه تلفن همراه شهر کرمان مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. بر مبنای نتایج مشخص شد که هر دو روش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری عملکرد یکسانی در سنجش میزان رفع نقص دارند. اما روش نرم‌افزاری پیشنهادی ضمن حذف هزینه های سخت‌افزاری مربوط به نیروی انسانی و تجهیزات، زمان انجام آزمون تست را به یک سوم کاهش می دهد.

پی‌نوشت‌ها

1 Global system for mobile communication (GSM)
2 Quality of service (QoS)
3 Quality of experience (QoE)
4 Key Performance Indicators
5 Drive test
6 Mobile station
7 Base Station Subsystem
8 Network Subsystem
9 Subscriber Identity Module
10 Mobile Equipment
11 Base Transceiver Station
12 Base Station Controller
13 Mobile Switching Center
14 Operation and Maintenance Center
15 Call Set-up Success Rate
16 Call Drop Rate
17 Traffic Channel Congestion Rate
18 Handover Success Rate

مراجع

[1] T.S., Rappaport, Wireless Communication principles & Practice, Prentice-Hall, 1996.
[2] W.C. Jakes, Microwave Mobile Communication, IEEE press, 1974.
[3] H. Gunnar, GSM Networks, Protocols, Terminology & Implementation, Artech-House, 1998.
[4] E. Hossain, et al., "Evolution toward 5G multi-tier cellular wireless networks: An interference management perspective", IEEE Wireless Communications, vol. 21, no. 3, pp: 118-127, 2014.
[5] P. Kumar, B. Anuradha, and V. Naresh, "Improvement of Key performance indicators and QoS evaluation in operational GSM network," Int. Jour. of Engineering Research and Applications, vol. 1, no. 3, pp.411-417, 2002.
[6] D. Soldani, M. Li, and R. Cuny, QoS and QoE management in UMTS cellular systems, John Wiley and Sons, 2006.
[7] E. Liotou, et al., "Quality of experience in mobile cellular networks: key issues and design challenges", IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 7, pp. 145-153, 2015.
[8] R. A. Mishra, Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimization 2G/2.5G/3G…Evolution to 4G, John Wiley & Sons Ltd., 2004.
[9] J. Zhang, J. Sun, and D. Yang, "Application of drive test for QoS evaluation in 3G wireless networks," In Proc. IEEE ICCT, 2003.
[10] W. A. Hapsari, et al, "Minimization of drive tests solution in 3GPP," IEEE Commun. Mag., vol. 50, no. 6, pp. 28–36, 2012.
[11] J. D. L. Delgado and J. M. R. Santiago, "Key performance indicators for QOS assessment in TETRA networks," Int. Journal of Mobile Network Communications & Telematics, vol. 3, no. 6, 2013.
[12] I. Leontiadis; et al., "The good, the bad, and the KPIs: how to combine performance metrics to better capture underperforming sectors in mobile networks," IEEE Int. Conf. on Data Engineering, USA, 2017.
[13] A.S Adegoke, and I.T. Babalola, "Quality of service analysis of GSM telephone system in Nigeria," American Journal of science and industrial research, vol. 2, no. 5, pp. 707-712, 2011.
[14] J. Isabona, and K. Obahiagbon, "A practical optimization method to improve QOS and GOS-based key performance indicators in GSM network cell cluster," Int. Jour. of Wirless & Mobile Networks, vol. 6, no. 5, pp. 93-107, 2014.
[15] B. Y. Lawal, et al, "Quality of service and performance analysis of a GSM network In Eagle Square, Abuja and its environs, Nigeria," Int. Jour. of Scientific & Engineering Research, vol. 7, no 8, pp. 1992-1999, 2016.
[16] R. K. Upadhyay, V. K. Singh, and R. Kumar, "Performance analysis of GSM networks," Int. Jour. of Advance Research in Science and Engineering, vol. no.3, pp. 244-253, 2014.
[17] R. Kadioglu, Y. Dalveren, and A. Kara, "Quality of service assessment: a case study on performance benchmarking of cellular network operators in Turkey," Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, vol. 23, pp. 548-559, 2015.
[18] M. A. Habibi, et al., "Measurement and analysis of quality of service of mobile networks in Afghanistan end user perspective," CoRR abs/1701.05402, 2017.
[19] C. E. Suharyanto, P. Simanjuntak, and F. E Gunawan, "Quality of service of GSM: a comparative internet access analysis of provider in Batam," Int. Jour. of Open Information Technologies, vol. 5, no.6, pp. 26-32, 2017.
[20] O. A. Osahenvemwen, and J. Emagbetere, "Traffic analysis in mobile communication in Nigeria," Jour. of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences, vol. 3, no. 2, pp. 239-143, 2011.
[21]M. Panda, and S. P. Padhy, "Traffic analysis and optimization of GSM network," IJCSI Int. Jour. of Computer Science Issues, vol. 1, no 1, pp. 28-31, 2011.
[22] M. Rahnema, "Overview of the GSM system and protocol architecture", IEEE Commun. Mag., vol. 31, no. 4, pp. 92-100, 1993.
[23] D. F. Mojisola and K. Gbolahan, "Participatory analysis of cellular network quality of service," Int. Jour. of Computing & ICT Research, vol. 9, no 1, pp. 25-40, 2015.
[24] B. Haider, M. Zafrullah and M. K. Islam, "Radio frequency optimization & QoS evaluation in operational GSM network", In Proc. of WCECS 2009, vol. 1, USA, 2009.

***

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]