

گامنامه انجمن علمی شبکه هوشمند انرژی ایران

شماره ۱۲ - شهریور ماه ۱۴۰۴

آنچه در این شماره می خوانیم:

❖ منظور از یکپارچه سازی نامتمرکز خودمختار زیرساخت های حیاتی شهر هوشمند چیست؟

❖ چرا خودمختاری تطبیقی و رویکرد CASoS پایه های این چارچوب اند؟

❖ همبست پایاتابی (RELISILITY) چگونه پایایی، تاب آوری و انعطاف پذیری را یکپارچه می کند؟





صاحب امتیاز: انجمن شبکه هوشمند انرژی ایران

مدیر مسئول: دکتر علیرضا فریدونیان

تیم اجرایی نشریه: سعید کنش دوززاده - محمد اسلامی

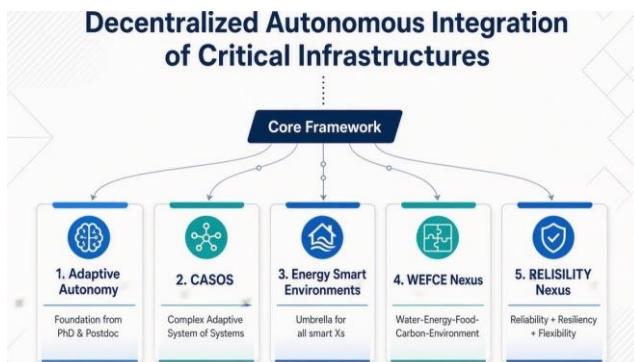
❖ یکپارچه سازی نامتمرکز خودمختار زیرساخت های حیاتی شهر هوشمند: از خودمختاری تطبیقی تا همبست پایاتابی

بیشتر پروژه های شهر هوشمند و شبکه هوشمند، با وجود سرمایه گذاری های سنگین، به نتایج مورد انتظار خود نمی رسند؛ زیرا به جای یک کلیت یکپارچه، مجموعه ای از سیلوهای جدا از هم باقی می ماندند. سامانه روشنایی هوشمند، شبکه آب هوشمند، حمل و نقل هوشمند و شبکه برق هوشمند، هر کدام جداگانه طراحی و بهره برداری می شوند، بی آنکه زبان مشترکی برای تعامل با یکدیگر داشته باشند.

«یکپارچه سازی نامتمرکز خودمختار زیرساخت های حیاتی شهر هوشمند: از خودمختاری تطبیقی تا محیط های هوشمند انرژی و همبست پایاتابی». این چارچوب، برخلاف بسیاری از رویکردهای رایج که یکپارچگی را از طریق تمرکز داده ها در یک پلتفرم مرکزی جست و جو می کنند، یکپارچگی را در دل خود عدم تمرکز می جوید رویکردی که در ادبیات این گروه پژوهشی با عنوان متناقض نمای یکپارچه سازی نامتمرکز شناخته می شود.

ردیابی سیر انتشارات گروه پژوهشی شبکه های هوشمند انرژی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تکامل تدریجی این چارچوب را به خوبی نشان می دهد. نقطه

آغاز، رویکردی سیستمی به طراحی زیرساخت فناوری اطلاعات برای اتوماسیون مدیریت شرکت های توزیع بود که در میانه دهه ۲۰۰۰ میلادی صورت بندی شد؛ در ادامه، مفهوم خودمختاری تطبیقی در قالب سامانه های سایبرنتیک هوشمند برای همکاری انسان و اتوماسیون معرفی و در سال های بعد با سامانه های خبره ترکیبی و شبکه سلسله مراتبی برای شبکه هوشمند پیاده سازی شد. از میانه دهه ۲۰۱۰، کانون پژوهش به تدریج به رویکرد سیستم های سیستم ها در تعامل انسان و اتوماسیون در شبکه هوشمند و سپس به برنامه ریزی پایایی محور هاب های انرژی خرد و کلان برای شهرهای هوشمند مردم محور گسترش یافت؛ مسیری که در سال های اخیر به مقالاتی درباره چارچوب گذار انرژی، محیط های هوشمند انرژی، و برنامه ریزی یکپارچه زیرساخت برق- گاز- آب رسیده است. هر یک از این گام ها، آجری بر همان بنایی نهاده که امروز در قالب این چارچوب پنج ایده ای ارائه می شود.



شکل ۱ یکپارچه سازی نامتمرکز خودمختار زیرساخت های حیاتی: چارچوب پنج ایده ای پیشنهادی

❖ ۱. خودمختاری (Adaptive) تطبیقی (Autonomy)

نخستین ایده این چارچوب، طراحی سامانه‌هایی است که با سطح مناسبی از خودمختاری تصمیم می‌گیرند و عمل می‌کنند؛ نه کاملاً خودکار و بی‌توجه به نظارت انسانی، و نه کاملاً وابسته به دخالت دستی در هر تصمیم خرد. سطح خودمختاری باید متناسب با پیچیدگی موقعیت، ریسک تصمیم و قابلیت اعتماد به داده‌های در دسترس، به‌صورت پویا تنظیم شود. این ایده نخستین‌بار در قالب سامانه‌های خبره ترکیبی و سامانه‌های خبره مبتنی بر شبکه پتری سلسله‌مراتبی برای شبکه هوشمند صورت‌بندی شد و ریشه در نگاهی دارد که خودکارسازی را نه جایگزینی کامل انسان، بلکه همکاری سایبرنتیک انسان و ماشین برای راه‌حل‌های خودکارسازی انسانی‌تر می‌داند.

❖ ۲. رویکرد سیستمی به سیستم‌های پیچیده تطبیقی (CASoS) در زیرساخت‌های حیاتی

دومین ایده، به‌کارگیری سیستم‌های پیچیده تطبیقی از سیستم‌ها یا CASoS به‌عنوان چارچوب مفهومی برای مطالعه تعامل زیرساخت‌های حیاتی شهر است؛ مفهومی که پیش‌تر در طرح‌های برنامه‌ریزی هاب‌های انرژی خرد و کلان در همین گروه پژوهشی به‌کار گرفته شده است. در این نگاه، هر زیرساخت برق، آب، گاز، حمل‌ونقل یک

سامانه مستقل با خودمختاری خاص خود است، اما تعامل میان این سامانه‌ها رفتاری نوظهور و یکپارچه در سطح کل شهر پدید می‌آورد که از جمع ساده رفتار اجزا قابل پیش‌بینی نیست. تحلیل این رفتار نوظهور، به‌ویژه در ابعاد پایایی و تاب‌آوری سامانه‌های متشکل از هاب‌های انرژی، موضوع چند پژوهش این گروه بوده است.

مقالات این گروه درباره برنامه‌ریزی پایایی محور شهرهای هوشمند مردم‌محور، فرمول‌بندی این ایده را از یک هاب انرژی منفرد به شبکه‌ای از هاب‌های خرد و کلان به‌هم‌پیوسته تصمیم داده و نشان داده‌اند که تصمیم برنامه‌ریزی بهینه در سطح یک هاب، لزوماً برای کل سامانه شهری بهینه نیست؛ نکته‌ای که ارزش رویکرد سیستم‌های سیستم‌ها را نسبت به بهینه‌سازی جزیره‌ای هر زیرساخت به‌تنهایی آشکار می‌کند.

❖ ۳. محیط‌های هوشمند انرژی (Energy Smart Environments): مفهومی چتری

سومین ایده، معرفی محیط‌های هوشمند انرژی به‌عنوان یک مفهوم چتری است که همه هوشمندهای پراکنده خانه هوشمند، ساختمان هوشمند، شبکه هوشمند، شهر هوشمند را به‌صورت غیرمتمرکز و حول محور انرژی یکپارچه می‌کند. به‌جای آنکه هر یک از این حوزه‌ها چارچوب مستقل خود را داشته باشد، محیط هوشمند انرژی تلاش می‌کند بعد انرژی را به‌عنوان رشته اتصال

مشترک میان همه این سامانه‌ها معرفی کند؛ رویکردی که به‌تازگی در قالب چارچوبی نظام‌مند برای بعد انرژی در سیستم‌های سیستم‌های هوشمند صورت‌بندی و ارائه شده است.

این نام‌گذاری، خود بازتابی از تغییر رویکرد در ادبیات این گروه پژوهشی است. پیش‌تر مفاهیمی مانند شبکه هوشمند یا ساختمان هوشمند هرکدام حوزه مستقلی از پژوهش و استاندارد‌گذاری تلقی می‌شدند، اما محیط هوشمند انرژی این مرزها را کنار می‌گذارد و انرژی را نه یک حوزه موازی، بلکه بعدی مشترک در دل همه سامانه‌های هوشمند شهری می‌بیند؛ نگاهی که مبنای نام‌گذاری خود نشریه Smart Environments نیز هست.

❖ ۴. پیوند آب-انرژی-غذا-کربن-محیط‌زیست

(WEFCE Nexus)

چهارمین ایده، یکپارچه‌سازی نامتمرکز حوزه‌های گوناگون شهر هوشمند از طریق پیوند آب-انرژی-غذا-کربن-محیط‌زیست است. این پنج حوزه در عمل به‌شدت به هم وابسته‌اند: تولید انرژی به آب نیاز دارد، تصفیه و انتقال آب انرژی مصرف می‌کند، تولید غذا هم به آب و هم به انرژی وابسته است، و ردپای کربن و اثرات زیست‌محیطی، پیامد مشترک هر سه‌ی دیگر است. برنامه‌ریزی جداگانه برای هر یک از این حوزه‌ها، به‌سادگی منجر به تصمیم‌هایی می‌شود که در یک حوزه بهینه، اما

در حوزه دیگر پرهزینه یا حتی مخرب‌اند. برنامه‌ریزی یکپارچه زیرساخت برق-گاز-آب برای شهر هوشمند، یکی از مصداق‌های عملی این ایده در کارهای اخیر این گروه پژوهشی بوده است.

برای نمونه، انتخاب مکان یک نیروگاه یا مرکز داده بر پایه صرفاً معیارهای برق، ممکن است ناحیه‌ای را برگزیند که دسترسی به آب خنک‌کننده در آن محدود یا هزینه محیط‌زیستی آن بالا باشد؛ در حالی که ارزیابی هم‌زمان این پنج بعد از همان مرحله طراحی، چنین ناسازگاری‌هایی را پیش از وقوع آشکار می‌کند. این همان استدلالی است که رویکرد پیوند آب-انرژی-غذا-کربن-محیط‌زیست را از یک شعار کلی به ابزاری عملی برای برنامه‌ریزی زیرساخت شهری تبدیل می‌کند.

❖ ۵. همبست پایاتابی: RELISILITY Nexus

پنجمین و شاید بدیع‌ترین ایده، یکپارچه‌سازی نامتمرکز سه ویژگی پایایی، تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری تحت یک اصطلاح ابداعی به نام پایاتابی یا RELISILITY، برگرفته از ترکیب Reliability و Resiliency، با نمود انعطاف‌پذیری در دل همین ترکیب است. این سه ویژگی اغلب به‌صورت جداگانه مطالعه می‌شوند. پایایی با شاخص‌های سنتی قطعی و مدت زمان خاموشی سنجیده می‌شود، تاب‌آوری با توان سامانه در بازیابی پس از رخدادهای شدید، و انعطاف‌پذیری با توان تطبیق با

موفقیت کل این ساختار را تعریف می‌کند. حاصل جمع این پنج ایده، همان چیزی است که در عنوان این چارچوب آمده، یکپارچه‌سازی نامتمرکز خودمختار زیرساخت‌های حیاتی شهر هوشمند.

برای جامعه پژوهشی و صنعتی ایران، اهمیت این چارچوب فراتر از یک بحث نظری است. بسیاری از پروژه‌های شهر هوشمند در کشور نیز با همان الگوی سیلویی آغاز می‌شوند. هر سازمان متولی یک زیرساخت برق، آب، گاز و حمل‌ونقل شهری به‌طور مستقل سرمایه‌گذاری و توسعه می‌دهد، بی‌آنکه از ابتدا زبان مشترکی برای تبادل داده و هماهنگی تصمیم با سایر زیرساخت‌ها در نظر گرفته شود. چارچوب پنج‌ایده‌ای فوق، نه یک دستورالعمل اجرایی، بلکه یک زاویه دید مفهومی برای بازخوانی این پروژه‌ها ارائه می‌دهد. پیش از سرمایه‌گذاری در لایه فناوری، باید پرسید هر زیرساخت با چه سطحی از خودمختاری باید تصمیم بگیرد، این خودمختاری‌ها چگونه در قالب یک سامانه از سامانه‌ها با یکدیگر تعامل می‌کنند، و آیا معیار موفقیت طرح، هم‌زمان پایایی، تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری را پوشش می‌دهد یا تنها یکی از آن‌ها را.

در پایان به نظر شما، بزرگ‌ترین چالش یکپارچه‌سازی که در حال حاضر در عمل با آن روبه‌رو هستید، چیست؟

نوسانات کوتاه‌مدت عرضه و تقاضا. همبست پایاتابی، این سه شاخص را در یک چارچوب یکپارچه و نامتمرکز کنار هم می‌نشانند تا تصمیم‌های برنامه‌ریزی زیرساخت مانند جانمایی کلیدهای قطع‌ووصل یا طراحی هاب‌های انرژی به‌هم‌پیوسته هم‌زمان هر سه بعد را در نظر بگیرند، نه فقط یکی از آن‌ها را به قیمت غفلت از دیگری.

نمونه‌ای از کاربرد عملی این نگاه، پژوهش‌های این گروه درباره جانمایی بهینه کلیدهای قطع‌ووصل در شبکه توزیع است که پایایی و تاب‌آوری را هم‌زمان و در یک چارچوب بهینه‌سازی واحد بهبود می‌بخشند، به‌جای آنکه هرکدام در فرایندی جداگانه و احتمالاً متناقض با دیگری دنبال شوند. منابع انعطاف‌پذیری توزیع‌شده مانند خودروهای برقی هیبریدی قابل‌شارژ و پاسخ تقاضا نیز در همین راستا، به‌عنوان ابزار تقویت خودترمیمی شبکه هوشمند بررسی شده‌اند.

این پنج ایده به‌صورت جداگانه پدید نیامده‌اند، بلکه هر یک بر پایه آنچه پیش از آن ساخته شده استوار است. خودمختاری تطبیقی، واحد تصمیم‌گیرنده محلی را تعریف می‌کند؛ رویکرد CASoS، تعامل این واحدها را در قالب سامانه‌ای از سامانه‌ها صورت‌بندی می‌کند؛ محیط هوشمند انرژی، انرژی را محور یکپارچه‌سازی این سامانه‌ها قرار می‌دهد؛ پیوند آب-انرژی-غذا-کربن-محیط‌زیست این یکپارچگی را به حوزه‌های غیرانرژی نیز تعمیم می‌دهد؛ و همبست پایاتابی، معیار سنجش



گاهنامه انجمن علمی شبکه هوشمند انرژی ایران از تمامی دانشجویان، فارغ التحصیلان و صنعتگران مرتبط با حوزه شبکه های هوشمند دعوت به عمل می آورد تا با ارسال مقالات خود به این گاهنامه موجبات غنای علمی، بیشتر این گاهنامه را فراهم آورند.