



# سلسله گزارشات تخصصی شبکه هوشمند انرژی ایران

## گزارش هشتم

### نقشه‌راه شبکه هوشمند ایالت کالیفرنیا



#### مندرجات:

۱: مقدمه

۲: رویکرد توسعه شبکه هوشمند

۳: معماری و مهندسی شبکه هوشمند

۴: نقشه‌راه توسعه شبکه هوشمند



معاونت سیستم‌های اندازه‌گیری و شبکه هوشمند

آبان ماه ۱۳۹۱



POWEREN.IR



## فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه	۳
۱-۱ چرا نیازمند داشتن یک شبکه هوشمند هستیم؟	۳
۲-۱ چشم‌انداز شبکه هوشمند	۵
۳-۱ مهندسی ارزش شبکه هوشمند	۷
۴-۱ تعریف شبکه هوشمند	۹
۱-۴-۱ اعطای حق انتخاب به مشتریان	۱۰
۲-۴-۱ افزایش اثر بخشی و ایمنی کارکنان	۱۳
۳-۴-۱ افزودن منابع انرژی پراکنده و تجدیدپذیر	۱۴
۴-۴-۱ بهره‌وری و انعطاف‌پذیری شبکه	۱۵
۵-۴-۱ اطلاعات و ارتباط دوطرفه	۱۶
فصل دوم: رویکرد توسعه شبکه هوشمند	۱۸
۱-۲ مهندسی سیستم‌های مبتنی بر مشتری	۱۸
۲-۲ ایده‌های باز	۱۹
۳-۲ برنامه‌ریزی سناریوهای توسعه فناوری	۲۰
۴-۲ توسعه استانداردها	۲۰
۵-۲ ارزیابی فناوری‌ها	۲۱
فصل سوم: معماری و مهندسی شبکه هوشمند	۲۳
۱-۳ طراحی سیستم الکتریکی شبکه هوشمند	۲۳
۲-۳ معماری سیستم اطلاعاتی شبکه هوشمند	۲۷
فصل چهارم: نقشه‌راه توسعه شبکه هوشمند	۳۱
۱-۴ مرحله ۱: زیر ساخت (۲۰۰۸-۱۹۹۵)	۳۳
۲-۴ مرحله ۲: آگاه‌سازی و اتوماسیون (۲۰۱۲-۲۰۰۹)	۳۴
۳-۴ مرحله ۳: اجرا (۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹)	۳۸
۴-۴ مرحله ۴: پیاده‌سازی کامل و بهره‌برداری	۴۱
۵-۴ خلاصه نقشه راه فناوری	۴۲

## فهرست واژگان

فارسی	مخفف	انگلیسی
شرکت ادیسون کالیفرنیا جنوبی	SCE	Southern California Edison
دپارتمان انرژی	DOE	Department of Energy
انستیتو ملی استاندارد و فناوری	NIST	National Institute of Standards and Technology
فرایند ابتدا به انتها		Use case
قانون امنیت و استقلال انرژی	EISA	Energy Independence and Security Act



## فصل اول: مقدمه

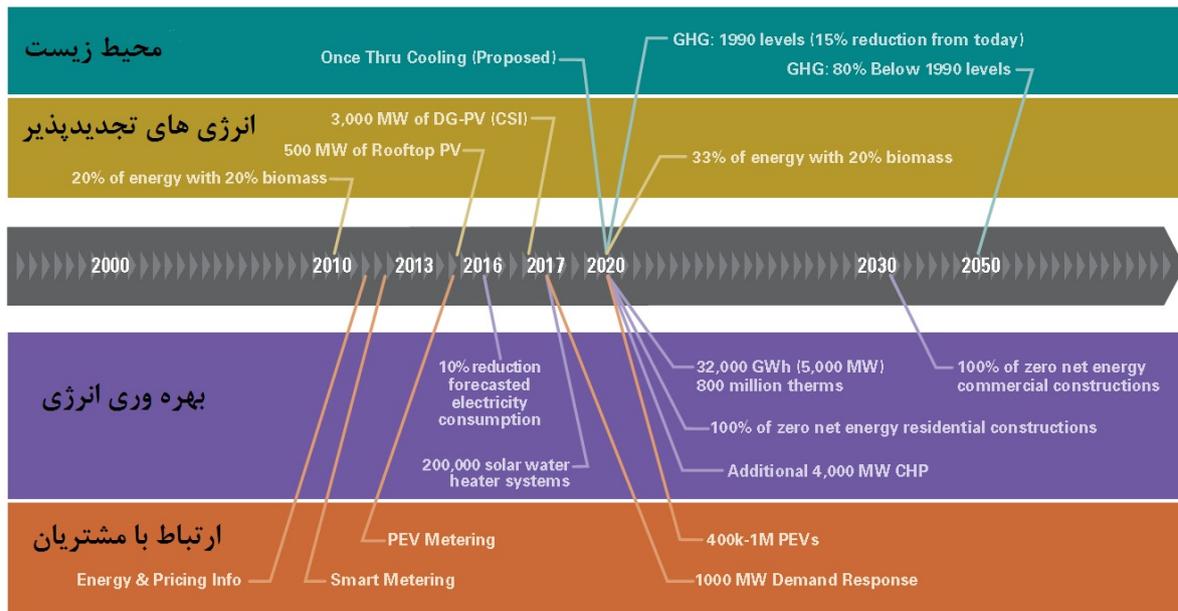
### ۱-۱ چرا نیازمند داشتن یک شبکه هوشمند هستیم؟

ایالات متحده امریکا به مقطع حساسی در رابطه با انرژی آینده خود رسیده است. مسائلی همچون تغییر شرایط آب و هوایی، استقلال در انرژی و امنیت سیستم نیاز به تأمل بیشتری دارند. سیاست‌گذاران ایالتی و فدرال نیاز به داشتن یک شبکه هوشمندتر و قوی‌تر الکتریکی را احساس کرده‌اند. شبکه‌ای که در آن از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر بیشتر در تولید برق استفاده می‌شود و اقتصاد انرژی در آن بهبود می‌یابد. همچنین برق برای سوخت خودروها استفاده خواهد شد و امنیت و قابلیت اطمینان شبکه افزایش خواهد یافت. شرکت ادیسون کالیفرنیا جنوبی<sup>۱</sup> (SCE) مسئول ایجاد این خواسته‌ها در شبکه برق ایالت کالیفرنیا می‌باشد. شرکت SCE پیشرو در توسعه فناوری‌های پیشرفته شبکه برق و افزودن آن‌ها به سیستم قدرت به منظور ایجاد یک شبکه الکتریکی هوشمندتر می‌باشد.

در سال ۲۰۰۷، شرکت SCE جزئیات نقشه‌راه فناوری‌های شبکه هوشمند را در پنج سطح مختلف تهیه و منتشر نمود. بسیاری از موارد بیان شده در آن نقشه‌راه درست بوده و در حال پیگیری و اجرا می‌باشد. با این حال در طی سه سال گذشته چند سیاست جدید برای دستیابی به یک شبکه هوشمندتر نیز به آن اضافه شده است. لازم به یادآوری است که همه این اهداف و سیاست‌ها ثابت نخواهد بود و ممکن است در برخی از زمان‌های پیشرو تغییر نمایند. شکل (۱) سیاست‌های حال حاضر کالیفرنیا در دستیابی به شبکه هوشمند را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد.

---

1 - Southern California Edison



شکل (۱): خط زمانی سیاست‌های شبکه هوشمند کالیفرنیا

تغییرات لازم برای به‌روز کردن شبکه الکتریکی آمریکا توسط سازمان فدرال امنیت و استقلال انرژی (EISA) در سال ۲۰۰۷ مشخص شده است. این قوانین مشخصه‌های بیان شده در جدول زیر را بیان می‌کنند که توسط شبکه هوشمند قابل دستیابی خواهد بود.

جدول ۱-۱ سیاست‌های شبکه هوشمند EISA سال ۲۰۰۷

ردیف	موضوع
۱	استفاده بیشتر از فناوری‌های کنترل و اطلاعات دیجیتال به منظور بهبود قابلیت اطمینان امنیت و بهره‌وری شبکه الکتریکی
۲	بهینه‌سازی پویای بهره‌برداری شبکه و منابع با امنیت سایبری کامل
۳	به‌کارگیری و اضافه نمودن منابع انرژی پراکنده و به ویژه تجدیدپذیر به شبکه الکتریکی فعلی
۴	به‌کارگیری برنامه‌های پاسخگوی بار، منابع سمت مصرف‌کنندگان و منابع پربازده
۵	به‌کارگیری فناوری‌های هوشمند (به‌هنگام، خودکار، فعال) که باعث بهره‌برداری بهینه از منابع شده و به مشارکت مصرف‌کنندگان در امر مدیریت سیستم کمک می‌کند.
۶	امکان استفاده از تجهیزات هوشمند برقی در سطح خانگی
۷	نصب و استفاده از ذخیره‌سازهای انرژی الکتریکی و فناوری‌های کاهش بار اوج شامل خودروهای الکتریکی و ذخیره‌سازی‌های گرمایی
۸	دسترسی مصرف‌کنندگان به اطلاعات لحظه‌ای انرژی و داشتن حق انتخاب
۹	توسعه استانداردهای مخابرات و قابلیت همکاری تجهیزات متصل به شبکه الکتریکی
۱۰	شناسایی و کاهش موانع غیرضروری یا غیرمنطقی که بر سر راه بکارگیری فناوری‌های شبکه هوشمند وجود دارد.

## ۱-۲ چشم‌انداز شبکه هوشمند<sup>۱</sup>

چشم‌انداز شبکه هوشمند ایالت کالیفرنیا به صورت به‌کارگیری و توسعه یک سیستم قدرت امن‌تر اقتصادی‌تر و با بهره‌وری انرژی بالاتر می‌باشد که دارای قابلیت اطمینان بالاتری بوده و دوست‌دار محیط‌زیست می‌باشد. این چشم‌انداز همه جنبه‌های مرتبط با انرژی از تولید تا انتقال، توزیع و در نهایت مصرف بهینه در خانه‌ها، صنایع و خودروها را پوشش می‌دهد.



براساس چشم‌انداز دپارتمان انرژی آمریکا (DOE) و آزمایشگاه فناوری انرژی ملی، در شبکه مدرن آینده کالیفرنیا باید سهم منابع تجدیدپذیر خود به ویژه مولدهای بادی و خورشیدی افزایش یابد و به میزان چشم‌گیری میزان استفاده از خودروهای الکتریکی زیاد شود. برای دستیابی به این اهداف باید انعطاف‌پذیری شبکه افزایش یابد و انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش یابد. همچنین اطلاعات به‌هنگام قیمت و میزان مصرف انرژی برای مصرف‌کنندگان و بهره‌بردار شبکه فراهم شود و مشترکین بتوانند با انتخاب خود، الگوی مصرف انرژی خود را تغییر دهند. پس از پیاده‌سازی کامل شبکه هوشمند شغل‌های جدیدی ایجاد خواهد شد و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش صنعت برق و حمل و نقل به میزان چشم‌گیری کاهش خواهد یافت. پنج مبحث استراتژیک در شبکه هوشمند که در شکل (۲) نشان داده شده است در ادامه به‌طور مختصر شرح داده شده است.



شکل (۲): الگوهای چشم‌انداز شبکه‌ی هوشمند کالیفرنیا

دادن حق انتخاب به مشتریان<sup>۱</sup> به منظور مدیریت انرژی و کاهش انتشار گازهای آلاینده از طریق استفاده از تجهیزات هوشمند، خودروهای الکتریکی و کاهش و جابه‌جایی بار توسط مصرف‌کنندگان. باید این امکان را برای آنها فراهم نمود تا در مدیریت انرژی مصرفی خود سهیم شوند.

**بهبود ایمنی و بازده پرسنل<sup>۲</sup>**، این کار از طریق ابزار هوشمند، ربات‌های هوشمند، تجهیزات کنترل از راه دور، ابزار حفاظتی و عملکرد از راه دور پرسنل شرکت برق ایجاد خواهد شد.

**اتصال منابع انرژی پراکنده و تجدیدپذیر<sup>۳</sup>** با بهره‌گیری از رابطه‌های الکترونیک قدرت و ایجاد سیستم‌های کنترلی و حفاظتی مناسب. باید میزان منابع تولید پراکنده را در سطح شبکه افزایش داد تا سهم قابل توجهی از تولید انرژی الکتریکی توسط منابع پراکنده تجدیدپذیر فراهم شود.

**بهبود بازدهی و انعطاف‌پذیری شبکه<sup>۴</sup>** از طریق سیستم‌های هوشمند اندازه‌گیری که میزان مصرف را بطور به‌هنگام اندازه‌گیری و ارسال نمایند حاصل خواهد شد. همچنین با ایجاد سیستم‌های کنترلی نوین که امکان کنترل لحظه‌ای همه تجهیزات شبکه را در اختیار بهره‌بردار قرار خواهد داد نیز باعث بهبود انعطاف-پذیری و بازدهی شبکه خواهد شد.

**فراهم کردن اطلاعات و امکان ارتباط دو طرفه<sup>۵</sup>**، با ایجاد یک استاندارد باز، ایمن و انعطاف‌پذیر می‌توان بستر مخابراتی لازم جهت ارسال و دریافت اطلاعات بین هر دو نقطه از شبکه را فراهم آورد.

بیشتر دیدگاه‌های شبکه هوشمند که در چشم‌انداز آن بیان گردیده است باید تا سال ۲۰۲۰ ایجاد گردد، زیرا این اهداف در راستای چشم‌انداز انرژی کل آمریکا خواهد بود. باید توجه نمود که دستیابی به همه

1 - Empower Customers  
2 - Improve Workforce Safety and Productivity  
3 - Integrate Renewable and Distributed Energy Resources  
4 - Improve Grid Efficiency & Resiliency  
5 - Provide Information and Connectivity

مواردی که در چشم‌انداز به آن‌ها اشاره شده در طی ۱۰ سال غیرعملی خواهد بود. بنابراین رسیدن به یک شبکه هوشمندتر همانند یک سفر می‌باشد که یکی از ایستگاه‌های میانی آن در سال ۲۰۲۰ می‌باشد.



### ۳-۱ مهندسی ارزش شبکه هوشمند

اگرچه پیاده‌سازی شبکه هوشمند باید بر مبنای ملاحظات اقتصادی صورت پذیرد، اما روش‌های متداول تحلیل هزینه به سود نیز به تنهایی مناسب تحلیل اقتصادی طرح پیاده‌سازی شبکه هوشمند نخواهد بود. چرا که برخی از مزایایی که از هوشمندسازی شبکه عاید کشور خواهد شد در معیارهای اقتصادی متداول نمی‌گنجد. برای مثال باید مزایایی نظیر کاهش انتشار گازهای آلاینده، افزایش رفاه مصرف‌کنندگان و افزایش امنیت شبکه نیز باید در تحلیل هزینه به سود این پروژه مدنظر قرار گیرند. ارزش‌گذاری بر روی این مزایا کار آسانی نیست. همچنین ممکن است میزان ارزش یک مزیت در فناوری‌های مختلف شبکه هوشمند متفاوت باشد و علاوه بر آن سود بردن نهادها و اشخاص از پیاده‌سازی آن فناوری‌ها به یک اندازه نباشد. در ضمن ارزش یک فناوری باید در قالب بازه‌های زمانی متفاوت دیده شود. شرکت SCE ده مزیت برتر هوشمندسازی شبکه را به صورت زیر بیان نموده است.

۱- ایجاد منفعت برای مشتریان از طریق بهبود قابلیت اطمینان شبکه، افزایش ارتباط دوطرفه با مشتریان به منظور دادن حق انتخاب به مشتریان در مدیریت بهتر انرژی‌شان. لذا مشتریان قادر خواهند بود با اصلاح الگوی مصرف و مدیریت انرژی خود بدون آنکه میزان رفاه خود را کاهش دهند، هزینه‌های قبض برق خود را کاهش دهند.

۲- کاهش اوج بار از طریق اجرای برنامه‌های مدیریت و پاسخ‌گویی بار.

۳- افزایش بهره‌وری و صرفه‌جویی انرژی از طریق استفاده از سیستم‌های مدیریت انرژی مشتریان و سیستم مدیریت انرژی شبکه. افزودن این سیستم‌های مدیریت انرژی موجب کاهش تلفات شبکه نیز خواهد شد.

۴- کاهش هزینه‌های بهره‌برداری از طریق کاهش هزینه‌های برنامه‌ریزی توسعه شبکه و به کمک بهره‌گیری از منابع انرژی ارزان و پایدار

۵- جلوگیری، کاهش و یا به تعویق انداختن هزینه‌های سرمایه‌گذاری شبکه از طریق افزایش و یا آزادسازی ظرفیت شبکه، افزایش عمر مفید تجهیزات، بهینه‌سازی روند تولید و ارائه انرژی و به‌کارگیری فناوری‌های نوین.

۶- افزایش ایمنی کارکنان شرکت برق از طریق فراهم کردن اطلاعات و ابزاری که موجب می‌شود تا پرسنل شرکت برق کار خود را در یک ایمنی قابل قبول انجام دهند. برای مثال کنترل از راه دور تجهیزات و استفاده از ربات‌ها از این دسته می‌باشد.

۷- بهبود قابلیت اطمینان و انعطاف‌پذیری شبکه از طریق کاهش دوره و تعداد خاموشی‌ها و وقفه‌های مشتریان همچنین بهبود کیفیت توان برق تحویلی به مشتریان و به‌کارگیری انواع منابع انرژی موجود برای تولید برق نیز باعث افزایش قابلیت اطمینان شبکه خواهد شد.

۸- کاهش انتشار گازهای آلاینده از طریق به‌کارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر نظیر منابع بادی و خورشیدی به همراه بهره‌گیری از خودروهای الکتریکی در شبکه.

۹- ارتقای عدم وابستگی خارجی به انرژی از طریق تأمین سوخت خودروها به وسیله برق.

۱۰- ارتقای وضعیت اقتصاد انرژی از طریق ایجاد فناوری‌های مرتبط با شبکه هوشمند و ایجاد شغل‌های جدید برای جوانان در عرصه شبکه هوشمند.

در این راستا شرکت SCE توانسته قدم‌های مهمی را بردارد. برای مثال انواع برنامه‌های پاسخگویی بار را در شبکه کالیفرنیا در طی ۲۰ سال اخیر اجرا نموده است و با همکاری شرکت Edison Smart Connect توانسته پروژه نصب کنتور هوشمند را برای تعداد قابل توجهی از مشتریان خود به انجام برساند. در شکل زیر اطلاعات هزینه و سود این پروژه آورده شده است.



'07 PVRR (\$Ms)		هزینه ها		(\$Millions)	
جمع هزینه ها	جمع سودها		Nominal	'07 PVRR	
\$1,981M	\$2,285M	Phase II Pre-Deployment	\$ (45)		
	<b>Net Societal \$295M</b>	Acquisition of Meters & Comm Network	(726)		
	<b>Price Response \$310M</b>	Installation of Meters & Comm Network	(285)		
	<b>Load Control \$324M</b>	Back Office Systems	(251)		
	<b>Conservation \$164M</b>	Customer Tariffs, Programs & Services	(117)		
	<b>بهره برداری \$1,174M</b>	Customer Service Operations	(82)		
<b>کل هزینه ها</b>		Overall Program Management	(45)		
		Contingency	(130)		
		Post-Deployment	(1,582)		
		<b>Total Costs</b>	<b>\$ (3,263)</b>	<b>\$ (1,981)</b>	
		<b>مزایا</b>			
		Meter Services	\$ 3,909		
		Billing Operations	187		
		Call Center	96		
		Transmission & Distribution Operations	92		
		Demand Response - Price Response	1,044		
		Demand Response - Load Control	1,242		
		Conservation Effect	828		
		Other	39		
		<b>Total Benefits</b>	<b>\$ 7,437</b>	<b>\$ 1,990</b>	
		<b>Net Benefits Excluding Societal</b>	<b>\$ 4,174</b>	<b>\$ 9</b>	
		<b>Societal Benefits</b>		<b>295</b>	
		<b>Net PVRR</b>		<b>\$ 304</b>	

شکل (۳): اطلاعات تحلیل هزینه به سود طرح پیاده‌سازی کنتورهای هوشمند

#### ۴-۱ تعریف شبکه هوشمند

شبکه هوشمند به عنوان یک سیستم قوت هوشمندتر و خودکار تعریف می‌شود که در آن از فناوری‌های نوین مخابراتی، کامپیوتری، کنترل و سنسورهای پیشرفته استفاده شده است. شبکه هوشمند راحت‌تر و بهتر می‌تواند میزان انرژی مورد نیاز مشتریان خود را فراهم نماید و از انواع منابع تولید انرژی برق چه به صورت متمرکز و چه به صورت تولید پراکنده استفاده نماید. شبکه هوشمند نسبت به سیستم قدرت فعلی دارای قابلیت اطمینان و انعطاف‌پذیری بالاتر می‌باشد.



شبکه هوشمند سال ۲۰۲۰، از اجزای زیادی تشکیل خواهد شد و سنسورهای اندازه‌گیری در هر لحظه مقادیر زیادی از پارامترهای شبکه را اندازه‌گیری و به سمت مرکز کنترل شبکه ارسال می‌نمایند. این داده‌ها بیشتر به صورت قابل نمایش هستند و فرامین نیز از طریق بستر مخابراتی برای برنامه‌ریزی و یا تغییر وضعیت تجهیزات ارسال می‌شود. مشتریان می‌توانند الگوی مصرف انرژی خود را متناسب با اطلاعات قیمت برق که به صورت لحظه‌ای دریافت می‌کنند تغییر دهند. همچنین مشتریان می‌توانند از شبکه برق برای تهیه سوخت خودروهای الکتریکی خود استفاده نمایند.

بهره‌بردار شبکه هوشمند می‌تواند در هر لحظه وضعیت شبکه را کنترل و دستورات لازم برای بهره‌برداری بهینه از شبکه را صادر نمایند. فناوری‌های نوین از جمله ترانسفورماتورهای ساخته‌شده از مواد ابررسانا، تجهیزات ذخیره‌سازی انرژی، سنسورهای پیشرفته و بستر مخابراتی وایرلس 4G و نرم‌افزارهای مدیریت داده-ها و کنترل شبکه موجب ایجاد کارآیی بهتر شبکه هوشمند نسبت به شبکه قدرت فعلی خواهند شد.

شبکه هوشمند قادر است صحت کارکرد و سلامت تجهیزات حساس نظیر ترانسفورماتورهای بزرگ خود را ارزیابی نماید. اگر یک عیب در یکی از ترانسفورماتورها رخ دهد که باعث به خطر انداختن پایداری سیستم شود، شبکه قدرت به طور خودکار بار این ترانسفورماتور را به سایر ترانسفورماتورها انتقال داده و سپس آن را از مدار خارج می‌نماید و درنهایت با انجام فرآیند تعمیرات و نگهداری به موقع، شبکه از یک خطر بزرگ نجات پیدا خواهد نمود. حتی سیستم‌های پایش و کنترل شبکه با ارزیابی داده‌های دریافتی از هر تجهیز شبکه، قادر خواهند بود هرگونه بروز عیبی را در همان لحظات شروع تشخیص داده و پیش از بروز یک مشکل جدی آن را برطرف نمایند. در ادامه به تعریف دقیق‌تر هر یک از پنج اقدام استراتژیک بیان شده در چشم‌انداز شبکه هوشمند ایالت کالیفرنیا پرداخته شده است.

#### ۱-۴-۱ اعطای حق انتخاب به مشتریان

##### پیشنهاد‌های مدیریت انرژی هوشمند برای مشتریان

تعریف: دادن اختیارات جدید و بیشتر به مصرف‌کنندگان در حوزه مدیریت مصرف انرژی خود. این امر به کمک در اختیار قرار دادن اطلاعات انرژی و تعریف خدمات جدید برای مشتریان محقق خواهد شد. با دادن حق انتخاب به مشتریان می‌توان آن‌ها را به یک عضو فعال در زنجیره تولید و مصرف انرژی تبدیل کرد و نتیجه آن مدیریت انرژی در سمت مصرف‌کنندگان، کاهش هزینه‌های انرژی، افزایش بهره‌وری و کاهش انتشار گازهای آلاینده ناشی از تولید برق خواهد بود.





شبکه قدرت کالیفرنیا در دهه اخیر مزایای زیادی از مشارکت مصرف‌کنندگان در مدیریت شبکه کسب نموده است. برای مثال اجرا نمودن انواع مختلف برنامه‌های پاسخ‌گویی بار موجب افزایش قابلیت اطمینان شبکه و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری شده است.

با این وجود هنوز هم شرکت SCE تمایل دارد تا در سطح



مصرف‌کنندگان و به‌خصوص مشتریان خانگی از فناوری‌های جدید استفاده نماید. همچنین در برنامه‌های آینده این شرکت برای هوشمندسازی شبکه در سطح مصرف‌کنندگان مواردی از قبیل توسعه استانداردهای جدید در سطح مشتریان که موجب تشویق و مشارکت بیشتر آن‌ها خواهد شد و ایجاد خدمات نوین انرژی به چشم می‌خورد. برخی از اهداف و رویکردها در این بخش در جدول ۱-۲ آورده شده است.

جدول ۱-۲ اهداف و رویکردها در زمینه مشتریان

عنوان	توضیحات
اطلاع‌رسانی به مشتری	توسعه قابلیت اطلاع‌رسانی به مشتری از طریق فراهم کردن اطلاعات درباره وضعیت لحظه‌ای شبکه (برای مثال وضعیت کیفیت توان، حوادث شبکه، برون‌رفت خطوط یا نیروگاه‌ها و ...)
مدیریت انرژی مشتری	با فراهم کردن اطلاعات قیمت و میزان مصرف انرژی برای مشتریان می‌توان آنها را در امر مدیریت انرژی خود در سطح خانگی و یا تجاری یاری نمود.
ذخیره‌سازی انرژی	با ارزیابی قابلیت ذخیره‌سازی انرژی در سطح مصرف‌کنندگان می‌توان به خانه‌ها و ساختمان‌هایی با تبادلات انرژی خالص صفر رسید. لذا با حضور منابع تولید پراکنده و ذخیره‌سازی‌های انرژی می‌توان به این مهم دست یافت.

### سیستم‌های پیشرفته حمل و نقل الکتریکی

تعریف: ارائه راهکارهایی برای پیاده‌سازی زیرساخت به منظور بهره‌گیری از قطارهای برقی و خودروهای الکتریکی. این زیرساخت‌های الکتریکی و مخابراتی به منظور کنترل و مدیریت شارژ خودروهای الکتریکی و پشتیبانی از ناوگان حمل و نقل برقی ایجاد خواهد شد.



بزرگ‌ترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایالت کالیفرنیا مربوط به بخش خودروها و ماشین‌های باربری در بزرگراه‌های شهر لس‌آنجلس می‌شود. در حال حاضر تلاش‌های خوبی در این زمینه در بندرگاه LONG BEACH صورت گرفته است. برای مثال سعی شده در این بندر از خودروهای الکتریکی بیشتر از خودروهای دیزلی استفاده شود. همچنین برای جابجا نمودن محموله‌های کشتی‌ها از بندر و توزیع آنها در ایالت کالیفرنیا از خودروهای الکتریکی و یا خطوط راه‌آهن برقی استفاده شود. ایالت کالیفرنیا طرح بزرگی برای احداث خطوط ریلی برقی پر سرعت را در سال ۲۰۰۹ به تصویب رسانده است که در تمامی شهرهای بزرگ این ایالت وجود خواهند داشت و به شهر لاس‌وگاس ختم خواهند شد. لذا شرکت SCE به عنوان مسئول پیاده‌سازی شبکه هوشمند در کالیفرنیا پشتیبانی از اتصال این بار دینامیکی جدید به شبکه برق خود را پذیرفته است. همچنین در سال ۲۰۱۰ بازار بزرگی برای عرضه خودروهای برقی در حجم انبوه به راه افتاده است که حضور این بارها در شبکه را حتمی نموده است.

شرکت SCE دارای آزمایشگاه مجهزی برای آزمایش خودروهای الکتریکی و بررسی تأیید آنها بر روی پایداری و بهره‌برداری از شبکه الکتریکی می‌باشد. شرکت SCE دارای ۳۰۰ خودروی سنگین الکتریکی می‌باشد که تاکنون در حدود ۱۸ میلیون مایل رانده شده‌اند. از اینرو ایالت کالیفرنیا دارای بزرگترین ناوگان حمل و نقل برقی در ایالت متحده می‌باشد. در جدول زیر به رویکردهای بهره‌گیری از سیستم حمل و نقل برقی اشاره شده است.

## جدول ۱-۳ رویکردهای بهره‌گیری از سیستم حمل و نقل برقی

عنوان	توضیحات
خطوط ریلی پرسرعت و برقی کردن حمل و نقل	حمایت از برقی کردن خطوط ریلی و ناوگان حمل و نقل بندرگاهی در ایالت کالیفرنیا
خودروهای سنگین و نیمه‌سنگین برقی	امکان پشتیبانی از خودروهای سنگین و نیمه سنگین برقی توسط شبکه الکتریکی و جایگزین کردن خودروهای سنگین دیزلی با نمونه الکتریکی آن
سیستم‌های شارژ خودروهای الکتریکی	توسعه مراکز شارژ خودروهای برقی در خانه‌ها، مراکز تجاری و محل‌های عمومی باید در اولویت کارها قرار گیرد. استانداردهای لازم برای اتصال خودروها به شبکه باید ایجاد گردد و سیستم پایش و کنترل شارژ و دشارژ خودروها باید پیاده‌سازی شود.



## ۱-۴-۲ افزایش اثر بخشی و ایمنی کارکنان

تعریف: ارزیابی و استفاده از فناوری‌های جدیدی که باعث افزایش بهره‌وری، سودبخشی و ایمنی پرسنل شرکت‌های برق خواهد شد.

با افزایش تنوع فناوری‌ها و تجهیزات نوین در شبکه هوشمند، نیازمند داشتن نیروهای متخصص و با تجربه در این زمینه خواهیم بود. اما دو نکته

باید همواره مدنظر قرار گیرد. اول اینکه برای افزایش بهره‌وری در کار نیروهای شرکت برق باید تا حد امکان از سیستم‌های کنترل از راه دور برای کنترل تجهیزات استفاده نمود. همچنین تصمیمات لازم برای هر اقدامی باید پیش از ارسال نیروها و با توجه به داده‌های در دسترس اتخاذ گردد، تا از سردرگمی‌ها و انجام اعمال غیربهبینه جلوگیری شود. دوم مربوط به ایمنی کارکنانی می‌باشد که بر روی خطوط گرم و تجهیزات برق‌دار کار می‌کنند. باید از فناوری‌های رباتیک و کنترل از راه دور تا حد امکان بهره برد تا ایمنی کار پرسنل افزایش یابد. در جدول ۱-۴ خلاصه‌ای از این رویکردها بیان شده است.



جدول ۴-۱ رویکردها در راستای افزایش اثر بخشی و ایمنی کارکنان

عنوان	توضیحات
فناوری‌های ایمنی کارکنان	تحقیق و بکارگیری فناوری‌هایی که باعث افزایش ایمنی کار پرسنل خواهد شد. همچنین باید در نحوه عملکرد در برخی از شرایط تجدید نظر شود و روند عملکرد پرسنل با ایمنی بالاتری صورت گیرد. استفاده از ربات‌های کنترل شونده نمونه‌ای از این فناوری‌ها می‌باشد.

#### ۳-۴-۱ افزودن منابع انرژی پراکنده و تجدیدپذیر

تعریف: به کمک سیستم‌های پایش، کنترل و حفاظت هوشمند و استفاده از فن‌آوری‌های ذخیره‌سازی انرژی این امکان فراهم خواهد بود تا ظرفیت بالایی از منابع انرژی تولید پراکنده و تجدیدپذیر به شبکه هوشمند متصل شوند.

در سال ۲۰۰۹ نمایندگان کالیفرنیا مصوبه‌ای را ثبت نموده‌اند که در آن قرار شد تا سهم منابع تجدیدپذیر از ۲۰٪ به ۳۳٪ در سال ۲۰۲۰ برسد.

دستیابی به این هدف تنها در صورتی محقق خواهد شد که فناوری‌های کنترل و حفاظت هوشمند به شبکه





قدرت اضافه شود. سیستم قدرت فعلی برای پذیرش اتصال منابع تجدیدپذیر با این ظرفیت طراحی شده است. برای مثال باید از فناوری ذخیره‌سازهای انرژی در شبکه به‌منظور کاهش اثر عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر استفاده شود. در ادامه خلاصه‌ای از رویکردهای مربوط به اضافه شدن منابع تجدیدپذیر آورده شده است.

جدول ۱-۵ رویکردهای یکپارچه‌سازی منابع انرژی پراکنده

عنوان	توضیحات
اضافه شدن منابع تولید پراکنده و تجدیدپذیر	باید مطالعات و پژوهش‌هایی در زمینه نحوه اتصال و چگونگی کنترل منابع انرژی پراکنده و تجدیدپذیر صورت پذیرد و استانداردها و سیاست‌های لازم در این راستا تعیین گردند.
ذخیره‌سازها	باید فناوری‌های مختلف ذخیره‌سازی انرژی مورد بررسی قرار گیرد و از این ذخیره‌سازها برای پوشش نوسانات توان مولدهای تجدیدپذیر بادی و خورشیدی استفاده شود.
ذخیره‌سازی و جابه‌جایی انرژی	باید تحقیقاتی بر روی نحوه ذخیره‌سازی مازاد انرژی مولدهای تجدیدپذیر در ساعات بی‌باری و استفاده از توان ذخیره شده برای تامین بار اوج صورت پذیرد.



#### ۱-۴-۴ بهره‌وری و انعطاف‌پذیری شبکه

تعریف: با بهره‌گیری از سیستم پایش تجهیزات و برنامه‌های تحلیل و ارزیابی داده‌ها می‌توان شبکه را در نقطه بهینه خود مورد بهره‌برداری قرار داد و موجب افزایش بهره‌وری آن شد. همچنین برنامه‌های توسعه شبکه نیز تغییر خواهد کرد و روند انجام برنامه‌ریزی توسعه شبکه برای آینده بهبود خواهد یافت. نمونه‌ای از رویکردهای مرتبط با بهره‌وری شبکه در زیر بیان شده است:

جدول ۱-۶ رویکردهای بهره‌وری و انعطاف‌پذیری شبکه

عنوان	توضیحات
عملکرد تجهیزات شبکه	حداکثر کردن بهره‌وری و کارایی تجهیزات شبکه از طریق بهبود روند کنترل و پایش این تجهیزات به همراه استفاده از فناوری‌های نوین
ارتقای برنامه‌های	توسعه ابزار سیستم تحلیل شبکه به منظور ذخیره و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از شبکه

**توسعه شبکه** این ابزار تحلیل شبکه کمک بزرگی به انجام بهتر و دقیق‌تر برنامه‌ریزی توسعه شبکه خواهد بود.

**بهره‌وری شبکه** توسعه و پیاده‌سازی فناوری‌هایی نظیر کنترل ولتاژ توان راکتیو در شبکه به منظور کاهش تلفات و افزایش بهره‌وری و ظرفیت شبکه

**مواد پیشرفته و نوین** استفاده از فناوری‌هایی که شامل موادی می‌باشند که بازدهی تجهیزات شبکه را ارتقا می‌دهند.

**افزایش قابلیت اطمینان شبکه** ارزیابی و به‌کارگیری فناوری‌هایی که باعث افزایش قابلیت اطمینان شبکه خواهند شد و استانداردهای NERC<sup>1</sup> را برآورده می‌کند.



### ۱-۴-۵ اطلاعات و ارتباط دوطرفه

تعریف: ارزیابی و اضافه نمودن فناوری‌های مخابراتی و اطلاعاتی به شبکه الکتریکی به منظور جابه‌جایی آسان داده‌های اندازه‌گیری شده در سرتاسر شبکه. این شبکه مخابراتی باید در یک امنیت کامل باشد و بتوانند با در اختیار قرارداد اطلاعات مناسب جمع‌آوری شده از تجهیزات شبکه موجب بهبود روند مدیریت و بهره‌برداری شبکه شوند.



برخی از رویکردهای مرتبط با اطلاعات و بستر مخابراتی لازم برای هوشمندسازی شبکه در زیر آورده شده است.

<sup>1</sup> - North American Electric Reliability Corporation

جدول ۱-۷ رویکردهای اطلاعات و ارتباط دوطرفه

عنوان	توضیحات
مهندسی و زیرساخت مخابراتی و اطلاعاتی	توسعه و پیاده‌سازی یک زیرساخت مخابراتی یکپارچه که در آن سطح امنیت، قابلیت اطمینان و قابلیت همکاری به وضوح تعریف شده باشد.
ارتباط مخابراتی پرسرعت	ارزیابی و به‌کارگیری فناوری مخابراتی پرسرعت جهت برقراری ارتباط موثر بین پست‌ها و منابع تولید با بهره‌بردار شبکه، همچنین برقراری ارتباط با مشتریان نیازمند به داشتن یک ارتباط مخابراتی امن و پرسرعت خواهد بود.
سیستم جمع‌آوری و ذخیره اطلاعات	داده‌های اندازه‌گیری شده باید توسط یک سیستم کارآمد جمع‌آوری، طبقه‌بندی و برحسب نیاز مورد تحلیل قرار گیرند.



## فصل دوم: رویکرد توسعه شبکه هوشمند

اکثر استراتژی‌ها و رویکردهای شبکه هوشمند باید در طی ۱۰ سال آینده مورد ارزیابی قرار گیرند. روش‌های بیان شده در زیر در طی پنج سال گذشته توسط شرکت SCE مورد استفاده قرار گرفته که در پروژه کنتورهای هوشمند نتایج موفق داشته است.

۱- مهندسی سیستم‌های مبتنی بر مشتری<sup>۱</sup>

۲- ایده‌های باز<sup>۲</sup>

۳- برنامه‌ریزی سناریوهای توسعه فناوری<sup>۳</sup>

۴- توسعه استانداردها<sup>۴</sup>

۵- ارزیابی فناوری‌ها<sup>۵</sup>

### ۱-۲ مهندسی سیستم‌های مبتنی بر مشتری

مهندسی سیستم روش قدرتمندی برای طراحی، ایجاد و بهره‌برداری از سیستم‌ها می‌باشد. به بیان ساده، مهندسی سیستم روشی است که شامل شناسایی، ارزیابی اهداف سیستم، پیشنهاد طراحی سیستم، عملکرد اجزاء، انتخاب و پیاده‌سازی کامل و صحیح آن و بهره‌برداری درست از سیستم به منظور دستیابی به اهداف تعریف شده می‌باشد.

---

1 - Customer-Focused Systems Engineering

2 - Open Innovation

3 - Technology Development Scenario Planning

4 - Proactive Standards Development

5 - Rigorous Technology Evaluation

یکی از جنبه‌های مهم پیاده‌سازی و بهره‌برداری از شبکه هوشمند، توانایی توازن هزینه‌ها، در نظر گرفتن قیود فنی و برنامه‌ریزی با شناخت کامل از نیازهای مشتری، اهداف تجاری و سطوح موجود فناوری‌ها در بازار می‌باشد. شرکت SCE با بهره‌گیری از علم مهندسی سیستم‌های مبتنی بر مشتری به تهیه یک چارچوب جامع از میزان ارزش و ریسک مرتبط با سیستم‌های هوشمند در سطح مشتریان پرداخته است.

شرکت SCE برنامه نقشه‌راه ایالت کالیفرنیا را براساس استاندارد نقشه‌راه ارائه شده توسط NIST<sup>1</sup> تدوین نموده است. این استاندارد با عنوان استاندارد IEC 62559 نام‌گذاری شده است. همچنین شرکت‌های برق دیگری همچون Consumer Energy، برق و نور فلوریدا، پروژه First Energy و Salf River نیز از همین استاندارد برای تدوین چشم‌انداز و نقشه راه شبکه هوشمند خود استفاده نموده‌اند.

تعریف فرآیندهای ابتدا به انتها<sup>2</sup> از مهمترین و اولین مراحل فرآیند مهندسی سیستم‌ها می‌باشد. فرایند ابتدا به انتها، مجموعه‌ای از نیازمندی‌ها و روندهای استفاده از فناوری‌های شبکه هوشمند را در قالب سناریوهایی تعریف می‌کنند. فرایند ابتدا به انتها براساس سناریوهای تجاری و اقتصادی که در آنها افراد مسئول، حوزه فناوری‌ها و اطلاعات سیستم‌ها تعریف خواهد شد، شکل می‌گیرند. در نهایت فرایندهای ابتدا به انتها باید به گونه‌ای تعریف شوند تا به کمک آن‌ها به اهداف کلان شبکه هوشمند دست یافت.

مهندسی سیستم در تدوین نقشه راه شبکه هوشمند به منظور ارزیابی ارزش و ریسک پیاده‌سازی سیستم‌های پیچیده هوشمند برای مشتریان بکار می‌رود. در این راستا سه معیار اصلی باید مورد توجه قرار گیرد.

- ۱- اهداف تجاری (شامل تعیین ارزش مشتریان، بهبود روند بهره‌برداری و سازگاری با سیاست‌های انرژی فدرال و ایالت‌ها)
- ۲- ریسک افزودن فناوری‌ها
- ۳- اقتصادی بودن طرح‌ها

## ۲-۲ ایده‌های باز

روش ایده‌های باز یا آزاد رویکردی می‌باشد که به ایده‌ها و مفاهیم بیان شده توسط شرکت‌های برق، سیاست‌گذاران و محققین این اجازه را می‌دهد تا به اشتراک گذاشته شوند. این روش باعث می‌شود تا فناوری‌ها و نحوه پیاده‌سازی آنها به بهترین شکل ممکن بیان شده و بتوان انتخاب‌های بهینه و خوبی در این

1 - National Institute of Standards and Technology

2 - Use case

میان به دست آورد. شرکت SCE سابقه طولانی در استفاده از رویکرد ایده‌های باز دارد و در پروژه پیاده‌سازی شبکه هوشمند کالیفرنیا، همکاری نزدیک با سازندگان تجهیزات، سیاست‌گذاران، مشتریان و محققین دانشگاهی داشته است.

## ۲-۳ برنامه‌ریزی سناریوهای توسعه فناوری

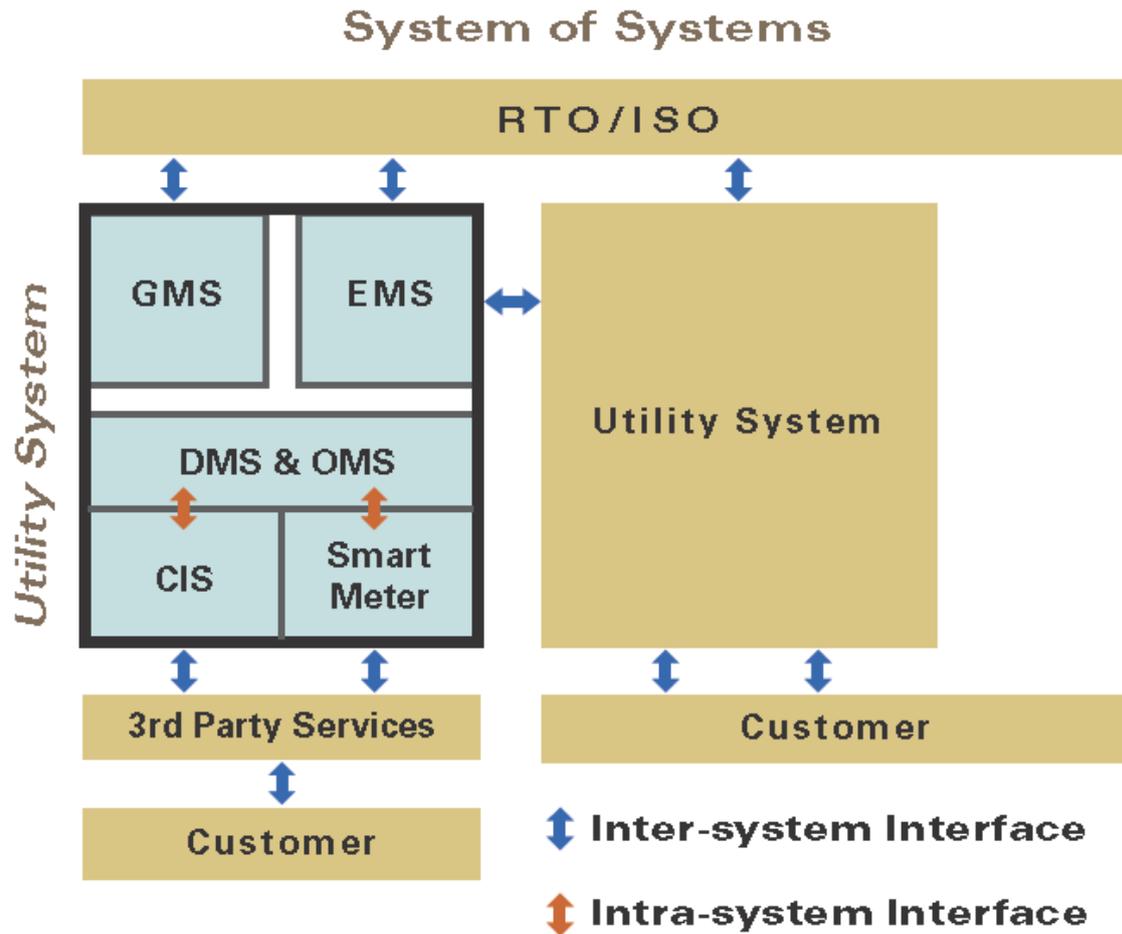
روش برنامه‌ریزی سناریوهای توسعه فناوری به رویکردی اطلاق می‌شود که اطمینان حاصل می‌کند که استراتژی‌های بکارگرفته شده در شبکه هوشمند تا چه حد به روز خواهند بود. در این برنامه‌ریزی موارد زیر مدنظر قرار می‌گیرد.

- رشد اقتصادی
- سیاست‌ها
- تطبیق و ابداع فناوری
- بازار انرژی
- نیازهای مشتریان

## ۲-۴ توسعه استانداردها

با هوشمندتر شدن شبکه برق نیاز به توسعه و به‌روز رسانی استانداردها نیز احساس خواهد شد. استانداردها باید به نحوی طراحی و یا به روز شوند که بتوانند قابلیت سازگاری و همکاری را بین نسل‌های مختلف فناوری‌های شبکه هوشمند برقرار نمایند.

شبکه هوشمند از چندین زیر سیستم بهم پیوسته تشکیل شده است. در این میان شرکت برق نیز وجود دارد که خود از چندین سیستم مجزا نظیر سیستم انتقال، توزیع و مشتریان تشکیل شده است. روابط مجموعه این سیستم‌ها در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵): سیستمی متشکل از زیرسیستم‌ها

## ۲-۵ ارزیابی فناوری‌ها



فرآیندهای تست، ارزیابی و توسعه فناوری‌های نوظهور شبکه هوشمند در این مرحله انجام می‌پذیرد. شرکت SCE به عنوان یکی از پیشگامان عرصه ایجاد و عرضه کردن فناوری‌های به‌روز در زمینه شبکه هوشمند می‌باشد. روش ارزیابی فناوری مورد استفاده توسط SCE مطابق با استانداردهای IEEE و یا ISO

می‌باشد. روند تست و ارزیابی یک فناوری، ابتدا در سطح آزمایشگاه صورت می‌گیرد. سپس در صورت دریافت مجوز اعتبار و مطابقت داشتن با مشخصه فناوری‌های خواسته شده وارد تست در بستر یک طرح پایلوت خواهد شد. اگر فناوری موردنظر مشخصه‌های خواسته شده را در طی آزمایش در طرح پایلوت از خود نشان دهد مورد تأیید نهایی قرار گرفته و شرایط لازم برای تولید انبوه و پیاده‌سازی را خواهد داشت.

برای نمونه، آزمایشگاه ارزیابی فناوری خودروهای الکتریکی شرکت SCE با آزمایش و بررسی انواع مدل-های مختلف خودروها و ذخیره‌سازها، استانداردهای لازم برای حضور این فناوری‌ها در بستر شبکه هوشمند آینده را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. همچنین به‌طور مشابه، آزمایشگاه ارزیابی فناوری برای کنتورهای هوشمند، شبکه مخابراتی و سایر اجزای اصلی شبکه هوشمند نیز وجود دارد.

## فصل سوم: معماری و مهندسی شبکه هوشمند



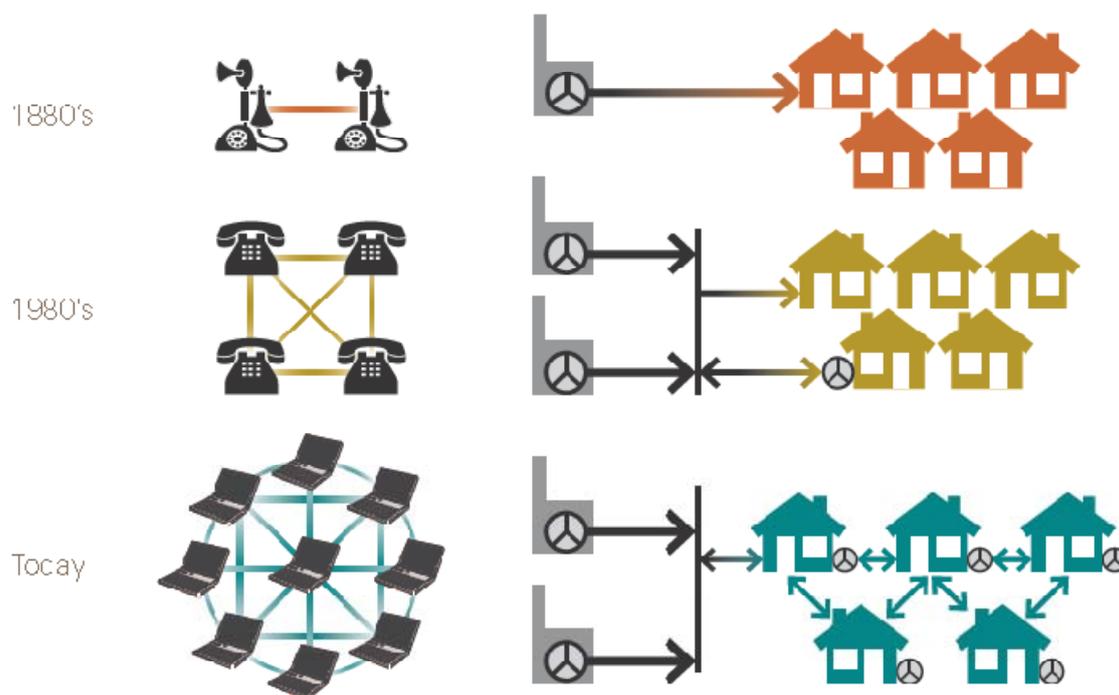
### ۳-۱- طراحی سیستم الکتریکی شبکه هوشمند

در طی ۱۲۵ سال گذشته رویکرد صنعت برق به سمت برق‌رسانی به همه نقاط و بهره‌برداری اقتصادی از شبکه بوده است. اقتصادی که به صورت انحصاری بوده و از نیروگاه‌های بزرگ و متمرکز برای تولید برق استفاده می‌نموده است. اما در طی ۳۰ سال گذشته رویکردهای صنعت برق تغییرات زیادی کرده است. سه عامل اصلی که تأثیر زیادی بر روی این رویکردها و به تبع آن طراحی ساختار شبکه الکتریکی داشته‌اند به شرح زیر می‌باشد:

- منابع تولید پراکنده و تجدیدپذیر
- مدیریت بار و انرژی مشتریان
- فناوری‌های مخابراتی و اطلاعاتی افزوده شده به سیستم‌های کنترل و بهره‌برداری

هرکدام از این عوامل در حدود سال ۱۹۸۰ معرفی شده‌اند که موجب ایجاد تغییرات اساسی در ساختار بهره‌برداری و کنترل شبکه برق شده‌اند. تا قبل از سال ۲۰۰۵ این سه عامل باعث معرفی مفاهیم جدیدی هم‌چون ریزشبکه‌ها، مشارکت بارهای مجتمع در بازار عمده فروشی برق و برنامه نصب سلول‌های خورشیدی به ظرفیت ۵۰۰MW بر روی سقف شده‌اند. این مفاهیم نیازمند طراحی جدید برای شبکه برق خواهند بود. این طراحی جدید باید (۱) امکان جاری شدن توان و اطلاعات به صورت دو طرفه از سمت مصرف‌کننده به شرکت برق و نیروگاه‌ها و یا برعکس ، (۲) بهره‌برداری یکپارچه از شبکه و (۳) استفاده از انواع مختلف منابع

تولید انرژی برق را امکان‌پذیر سازد. در شکل ۶ مراحل تکامل سیستم مخابراتی به همراه شبکه قدرت نشان داده شده است.



شکل (۶): سیر تکاملی شبکه‌های الکتریکی و اطلاعاتی

در ادامه جزئیات ساختار و نحوه طراحی شبکه الکتریکی آینده شرح داده خواهد شد.

### طراحی پست‌ها و سیستم انتقال



به‌منظور بهبود قابلیت اطمینان شبکه در حضور ظرفیت بالای منابع تجدیدپذیر نصب شده، باید ساختار و طراحی سیستم انتقال و پست‌ها دچار تغییر شوند. در این طراحی جدید باید هدف اصلی بر روی بهره‌برداری بهینه و حداقل نمودن تلفات شبکه متمرکز شود.

با بهره‌گیری از سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند که در سطوح مختلف شبکه انتقال نصب خواهند شد، می‌توان تصمیمات را به صورت لحظه‌ای برای شبکه اتخاذ نمود و بهره‌بردار قادر خواهد بود با سرعت بیشتری به اختلالات به وجود آمده در شبکه پاسخ دهد. پایش گسترده شبکه، امکان استفاده از

سیستم‌های کنترلی و حفاظتی جامع که تمام نقاط شبکه را تحت پوشش خود قرار می‌دهند را امکان‌پذیر می‌سازد. سیستم‌های پیشرفته‌ای که برای بهره‌برداری شبکه انتقال ایجاد خواهد شد، علاوه بر قرائت و جمع-آوری داده‌های اندازه‌گیری شده توسط فازورها، رله‌ها و کنترلرها، این داده‌ها را پردازش نموده و اطلاعات

مفیدی را جهت تصمیم‌گیری در اختیار بهره‌بردار قرار می‌دهد. اگر فناوری موردنظر مشخص‌های خواسته شده را طی آزمایش در طرح پایلوت از خود نشان دهد، مورد تأیید نهایی قرار گرفته و شرایط لازم برای تولید انبوه و پیاده‌سازی را خواهد داشت.

برای نمونه آزمایشگاه ارزیابی فناوری خودروهای الکتریکی شرکت SCE با آزمایش و بررسی انواع مدل‌های مختلف خودروها و ذخیره‌سازها، استانداردهای لازم برای حضور این فناوری‌ها در بستر شبکه هوشمند آینده را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. هم‌چنین به‌طور مشابه آزمایشگاه ارزیابی فناوری برای کنتورهای هوشمند، شبکه مخابراتی و سایر اجزای اصلی شبکه هوشمند نیز وجود دارد.

علاوه بر سیستم‌های کنترلی و حفاظتی، از مواد و فناوری‌های جدید و پیشرفته نیز در طراحی شبکه انتقال و پست‌ها استفاده خواهد شد. برای مثال ترانسفورماتور محدودکننده جریان خطا که به وسیله مواد ابررسانا ساخته شده‌اند در سرتاسر شبکه و پست‌های انتقال نصب خواهند شد. این تجهیز باعث عملکرد بهتر سیستم، افزایش صرفه‌جویی در انرژی و کاهش تلفات سیستم خواهد شد.

علاوه بر آن، به‌کارگیری این تجهیزات پیشرفته باعث بهبود شاخص‌های کیفیت توان و قابلیت اطمینان شبکه خواهد شد. ترانسفورماتورهای فعلی قرار گرفته در پست‌های شبکه انتقال بیش از ۴۰٪ تلفات کل شبکه را ایجاد می‌نمایند. بهبود جزئی در کارایی این ترانسفورماتورها باعث کاهش چشم‌گیر تلفات و به تبع آن کاهش انتشار گازهای آلاینده نیروگاه‌ها خواهد شد.

در نهایت به جهت سیاست‌های زیست‌محیطی اتخاذ شده، تلاش زیادی در جهت نصب منابع تولید برق تجدیدپذیر به شبکه انتقال صورت پذیرفته است. حال با وجود این منابع که دارای خروجی توان متغیر و غیرقابل کنترل می‌باشد، باید چاره‌ای هم‌چون استفاده از ذخیره‌سازهای انرژی اندیشید. استفاده از ذخیره‌سازهای انرژی در شبکه انتقال کمک بزرگی به پوشش نوسانات توان نیروگاه‌های بادی و خورشیدی خواهد نمود.



### طراحی شبکه توزیع

سیستم‌های توزیع فعلی برای جاری شدن توان به صورت یک‌طرفه طراحی شده‌اند. به عبارت دیگر در شبکه توزیع، توان از پست‌ها به سمت مصرف‌کنندگان انتهایی انتقال می‌یابد. اما در شبکه هوشمند به علت وجود منابع تولید پراکنده و ذخیره‌سازها در نقاط مختلف شبکه توزیع، باید امکان جاری شدن توان در هر دو سمت فراهم شود. اما جاری شدن توان از دو سمت باعث

بروز مشکلات جدی در سیستم‌های قدیمی کنترل ولتاژ و سیستم‌های حفاظتی شبکه توزیع خواهد شد. یکی از راه‌کارهای مؤثر جهت غلبه بر این مشکلات، طراحی شبکه توزیع به صورت حلقوی و شبکه‌ای می‌باشد. با تغییر ساختار شعاعی شبکه توزیع به ساختار حلقوی می‌توان از سیستم‌های حفاظت، پایش و کنترل پیشرفته‌ای برای امکان برقراری پخش بار دوجبهته در شبکه توزیع بهره برد.

سیستم‌های اتوماسیون توزیع به‌طور گسترده‌ای در طراحی شبکه توزیع نفوذ خواهند کرد و باعث ارتقای سطح کنترل هوشمند شبکه خواهند شد. سیستم‌های پیشرفته اتوماسیون توزیع شامل موارد زیر می‌باشد:

✚ جهت بهبود قابلیت اطمینان شبکه توزیع باید میزان وقفه‌ها کاهش یافته و سرعت بازیابی شبکه افزایش یابد. بدین منظور سیستم تشخیص خطا، جزیره کردن و بازیابی<sup>۱</sup> (FDLR) به‌کار گرفته خواهد شد که با کمک کلیدهای هوشمند و انعطاف‌پذیر قادر به تشخیص و عملکرد سریع در برابر خطاها می‌باشند.

✚ افزایش نفوذ منابع تولید پراکنده و به خصوص منابع انرژی پراکنده تجدیدپذیر و ذخیره‌سازها در شبکه توزیع از چالش‌های مهم بهره‌برداری محسوب می‌شود. اگرچه این منابع باعث کاهش انتشار گازهای آلاینده و هم‌چنین بهبود اقتصاد انرژی می‌شوند، اما اگر به درستی کنترل و مدیریت نشوند باعث ناپایدار شدن شبکه خواهند شد.

✚ افزایش تقاضا برای اجرای برنامه‌های پاسخ‌گویی بار و کنترل پیشرفته بار به‌منظور کاهش بار اوج. سیستم‌های اتوماسیون پیشرفته توزیع قابلیت‌های مناسبی را برای کنترل سمت بار و اجرای برنامه‌های پاسخ‌گویی و مدیریت بار ارائه می‌دهند البته اجرای این برنامه‌ها بدون کاهش سطح رفاه مشتریان خواهد بود. کنترل بار نیز قابلیت‌ی است که به راحتی توسط سیستم اتوماسیون پیشرفته توزیع در اختیار بهره‌بردار قرار می‌گیرد تا در مواقع خروج منابع تولید برق و یا گرفتگی و اضافه بار خطوط از آن به عنوان اهرمی مؤثر در مدیریت شبکه استفاده نماید.

✚ در شبکه هوشمند آینده توجهات به بهره‌برداری از شبکه توزیع با حداقل تلفات خطوط و با مدنظر قرار دادن قیود کاهش انتشار گازهای آلاینده و بهبود شاخص‌های کیفیت توان معطوف خواهد بود. این هدف با استفاده از سیستم‌های پیشرفته کنترل ولتاژ-توان راکتیو حاصل خواهد شد. هم‌چنین با بهره‌گیری از سیستم کاهش ولتاژ با هدف صرفه‌جویی<sup>۲</sup> (CVR) می‌توان شاخص بهره‌وری انرژی را تا حد قابل قبولی بهبود بخشید.

1 - Fault Detection, Isolation and Restoration  
2 - Conservation Voltage Reduction

همچنین در طراحی شبکه توزیع باید از تجهیزات و مواد پیشرفته تا حد امکان استفاده گردد. برای مثال تجهیزات نصب شده بر روی ترانسفورماتورهای توزیع علاوه بر اندازه‌گیری میزان بار آن، قادر به ارائه شاخص‌های عملکرد و اطلاعاتی راجع به زمان تعمیرات و عمر ترانسفورماتور نیز می‌باشند. سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی در سطح شبکه توزیع از دیگر فناوری‌های جدید و پیشرفته‌ای هستند که به ساختار شبکه افزوده خواهند شد. این تجهیزات علاوه بر پوشش نوسانات توان منابع بادی و خورشیدی باعث بهبود ضریب قدرت بارها خواهند شد و به عنوان یک منبع پشتیبان سریع قادر به تامین کمبود توان خواهند بود.

### حفاظت پیشرفته



سیستم‌های کنترل و حفاظت جدیدی باید نصب و به کار گرفته شوند تا بتوان اثر افزایش منابع تجدیدپذیر، منابع تولید پراکنده و بارهای پاسخگو را کنترل و مدیریت نمود. این مهم نیازمند اضافه کردن کنترلرهای دیجیتال پیشرفته و تجهیزات حفاظتی پیچیده در شبکه قدرت خواهد بود.

ناپایداری ولتاژ در شبکه انتقال یکی از علل اصلی در بروز خاموشی سراسری می‌باشد. بهبود زمان شناسایی این ناپایداری‌ها یک عامل موثر در کنترل و حفاظت شبکه در برابر حوادث ناخواسته خواهد بود. سیستم‌های اندازه‌گیری

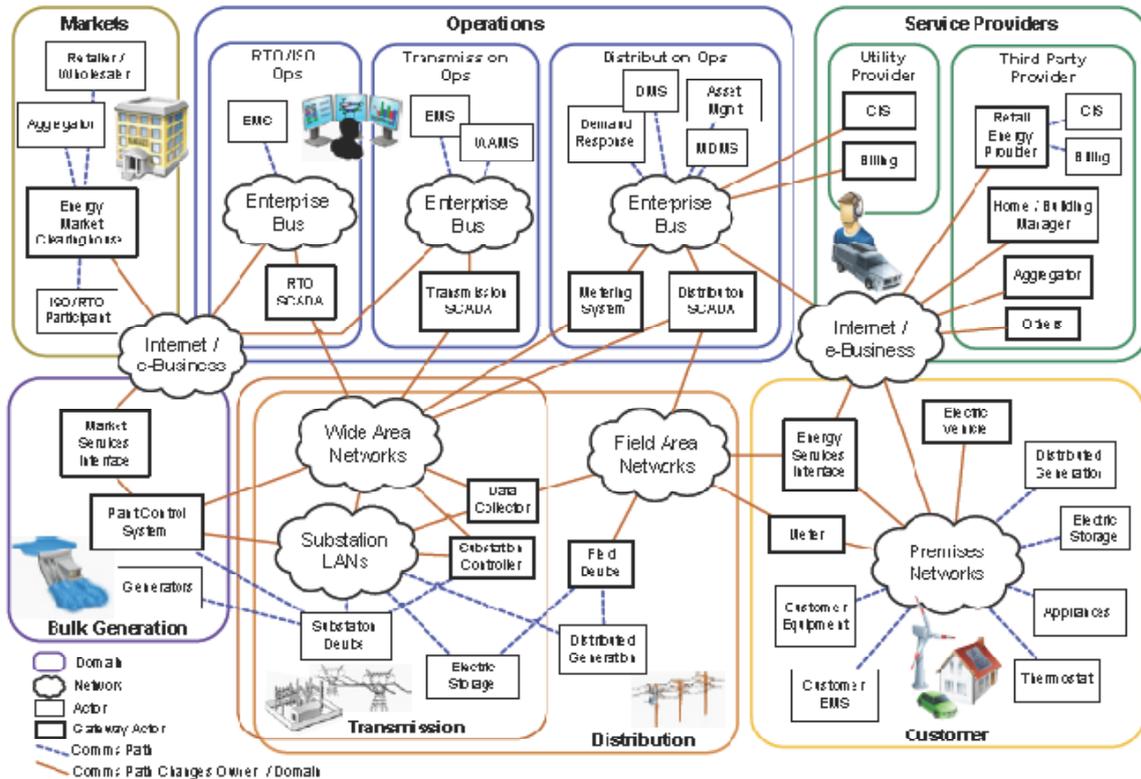
پیشرفته قادر خواهند بود به طور خودکار سیستم حفاظتی را فعال نموده و جلوی پیشرفت خطا و یا ناپایداری ولتاژ در شبکه را بگیرند.

### ۳-۲ معماری سیستم اطلاعاتی شبکه هوشمند

شرکت SCE باید علاوه بر به روز کردن و ارتقای ساختار سیستم الکتریکی شبکه، توسعه یک سیستم مخابراتی و اطلاعاتی هوشمند را نیز در دستور کار خود قرار دهد. معماری شبکه مخابراتی باید به نحوی باشد که پاسخگوی دریافت و پردازش داده‌ها در حجم بالا بوده و قابلیت پذیرش و همکاری با سیستم‌های نوظهور آینده را داشته باشد.

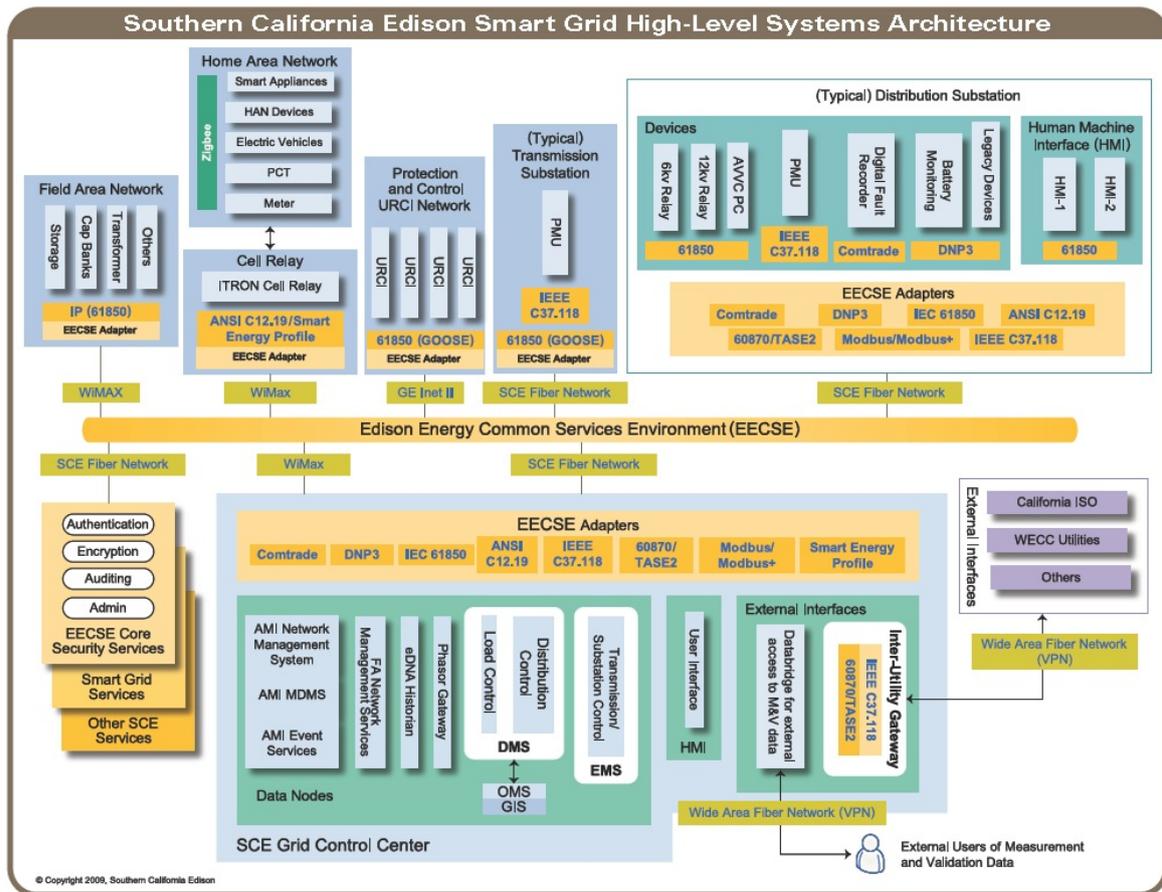
اطلاعات شبکه تنها مورد نیاز بهره‌بردار شبکه و شرکت‌های برق نخواهد بود بلکه مشتریان و شرکت‌های خدماتی نیز به این اطلاعات جهت تصمیم‌گیری و مدیریت مصرف انرژی خود نیاز خواهند داشت. سیستم مخابراتی و اطلاعاتی شبکه هوشمند علاوه بر دارا بودن قابلیت همکاری و سازگاری با سایر فناوری‌ها و داشتن انعطاف‌پذیری بالا، باید از لحاظ امنیت سایبری هم بسیار مقاوم باشد تا بتواند در برابر حمله‌های

ناخواسته عمدی و غیرعمدی شبکه را مصون نگه ندارد. چارچوب شبکه هوشمند 1.0 ارائه شده توسط سازمان NIST که در شکل ۷ نشان داده شده است به عنوان مرجع عملکرد شرکت SCE در این بخش می‌باشد.



شکل (۷): چارچوب NIST برای معماری شبکه هوشمند 1.0

این مدل از لایه‌های منسجم و بهم پیوسته تشکیل شده است که خود شامل عناصر مختلفی می‌باشد. معماری سیستم در اینجا شامل بازار، تولید توان، بهره‌برداری شبکه، مشتریان، اجزای هر دامنه، عملکردهای اطلاعات و بهره‌برداری، خدمات و لایه‌های چندگانه شبکه مخابراتی می‌باشد. تعمیم معماری سازمان NIST از یک گروه بسیار قوی شامل مهندسين IT، مشاوران فنی و حقوقی، محققین دانشگاهی و عوامل شرکت برق تشکیل شده است که در تابستان سال ۲۰۰۹ شروع به ایجاد مدل مفهومی معماری و اطلاعاتی شبکه هوشمند کرده‌اند. نتایج کار این گروه در قالب چارچوب شبکه هوشمند 1.0 منتشر شد. در توسعه این مدل مفهومی شرکت SCE نیز به عنوان نماینده ایالت کالیفرنیا مشارکت داشته است. با این وجود معماری اطلاعاتی شبکه هوشمند که توسط شرکت SCE عرضه شده است در شکل ۸ آورده شده است.



شکل (۸): معماری پیشنهادی شبکه هوشمند شرکت SCE

معماری سیستم اطلاعاتی شبکه هوشمند که در شکل ۸ دیده می‌شود، نشان دهنده سیستم‌های اتوماسیون، پروتکل‌های مخابراتی و استانداردها می‌باشد که برای ایجاد ارتباط منسجم بین تجهیزات و سیستم‌ها بکار گرفته خواهند شد.

یکی از بزرگترین چالش‌هایی که هر معماری شبکه هوشمند با آن روبرو می‌باشد نحوه برقراری ارتباط با مشتری و شرکت‌های خدماتی و تجهیزات و سیستم‌های مربوط به آن‌هاست. این رابط اطلاعاتی نه تنها باید به حد کافی امن باشد، بلکه باید تعادلی بین میزان کنترل‌پذیری تجهیزات مشتریان و قابلیت‌های شبکه خانگی HAN ایجاد نماید. شرکت SCE در پنج سال گذشته تحقیقات خوبی در این زمینه انجام داده است و در نهایت توانسته ساختاری را ارائه دهد که در آن مشتریان با آزادی عمل خوبی بتوانند کنترل تجهیزات و وسایل داخل خانه خود را در دست بگیرند و شبکه نیز از درگاه کنترل هوشمند توانایی مدیریت و برنامه‌ریزی بارها در سطح خانگی را داشته باشد.

یکی دیگر از چالش‌های معماری اطلاعاتی شبکه هوشمند مرتبط با مبحث امنیت سایبری<sup>1</sup> شبکه می‌باشد. برقراری ارتباط امن بین تجهیزات شبکه هوشمند و شرکت برق از الزامات اولیه معماری شبکه هوشمند کالیفرنیا می‌باشد. امنیت اطلاعاتی و مخابراتی شبکه هوشمند از پایه‌های اصلی سیاست‌های شبکه هوشمند ایالات متحده می‌باشد که در بند XIII سند EISA سال ۲۰۰۷ شرح داده شده است. شرکت SCE قصد دارد تمامی موارد بیان شده در معماری اطلاعاتی خود را بر روی اجزای مختلف پروژه پایلوت Irvine اجرا و از نتایج آن برای رفع نقایص معماری خود استفاده نماید. شرکت SCE معتقد است که تجربیات و درس‌های به دست آمده از این پروژه پایلوت راه‌گشای بسیاری از چالش‌های فعلی و پیش‌رو شبکه هوشمند خواهد بود.



---

1 - Syber Security

## فصل چهارم: نقشه‌راه توسعه شبکه هوشمند

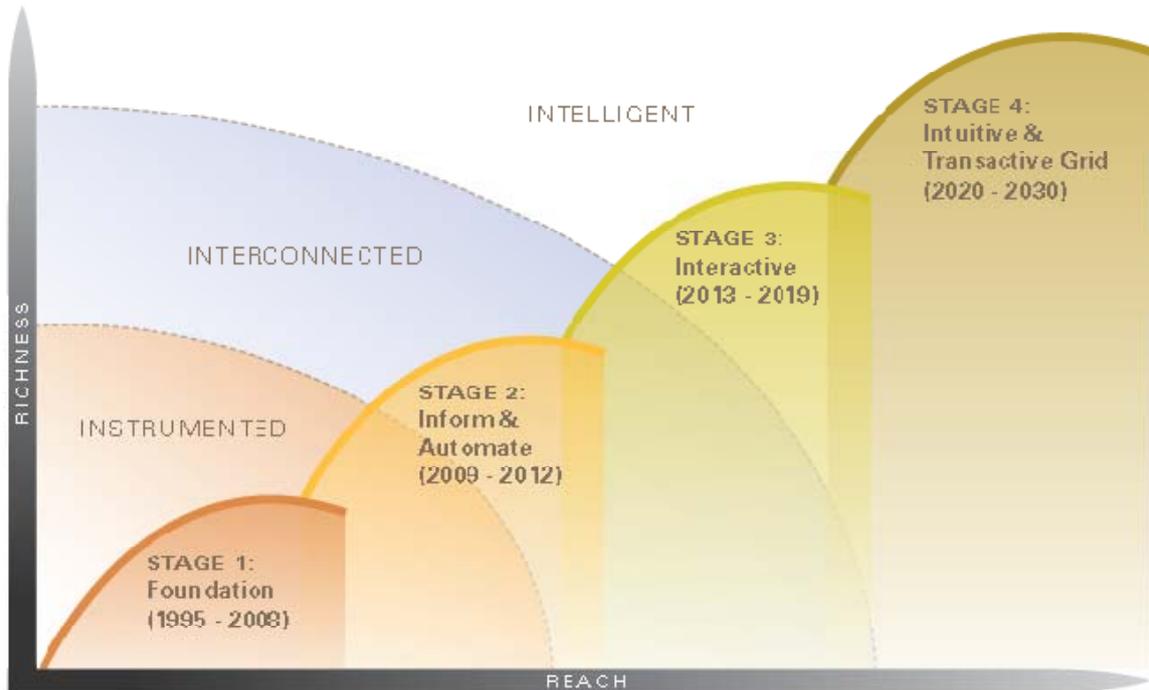
چشم‌انداز شبکه هوشمند کالیفرنیا در فصل قبل شرح داده شد. در این فصل نحوه توسعه نقشه‌راه و پیاده‌سازی آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این نقشه‌راه مشخص می‌نماید که شرکت SCE باید از چه نوع فناوری‌هایی در طی دو دهه آینده استفاده نماید تا چشم‌انداز شبکه هوشمند کالیفرنیا را به واقعیت تبدیل نماید.

شبکه هوشمند با پیچیدگی‌هایی چه از لحاظ مقیاس زمانی و چه از لحاظ انواع فناوری روبرو خواهد بود. تغییرات مورد نیاز برای حرکت از شبکه فعلی به یک شبکه هوشمندتر شامل سه بخش تجهیز کردن، ایجاد ارتباط و هوشمندسازی می‌باشد. تجهیز کردن شامل مواردی می‌باشد که قابلیت چالش و اندازه‌گیری در سرتاسر شبکه را ایجاد می‌کنند.

که از این میان می‌توان به واحد اندازه‌گیری فاز<sup>۱</sup> (PMU) و کنتورهای هوشمند مشتریان اشاره کرد. ایجاد ارتباط شامل برقراری ارتباط بین تجهیزات توسط شبکه مخابراتی گسترده می‌باشد. علاوه بر آن، ایجاد و پیوستگی بین عملکردهای بهره‌برداری نظیر سیستم‌های مدیریت توزیع با کنترل پیشرفته بار نیز در مقوله برقراری ارتباط می‌گنجد. هوشمندسازی شامل پردازش خودکار اطلاعات، کنترل و یکپارچه‌سازی سیستم‌ها به کمک هوش مصنوعی، قابلیت بهینه‌سازی خودکار و نظارت بر اجرای کیفیت برنامه‌های بازار می‌باشد. حرکت به سمت شبکه هوشمند به صورت یک مسیر زمانی خطی صورت نمی‌پذیرد، بلکه همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است. این گذار شامل ۴ مرحله می‌باشد که با هم همپوشانی خواهند داشت.

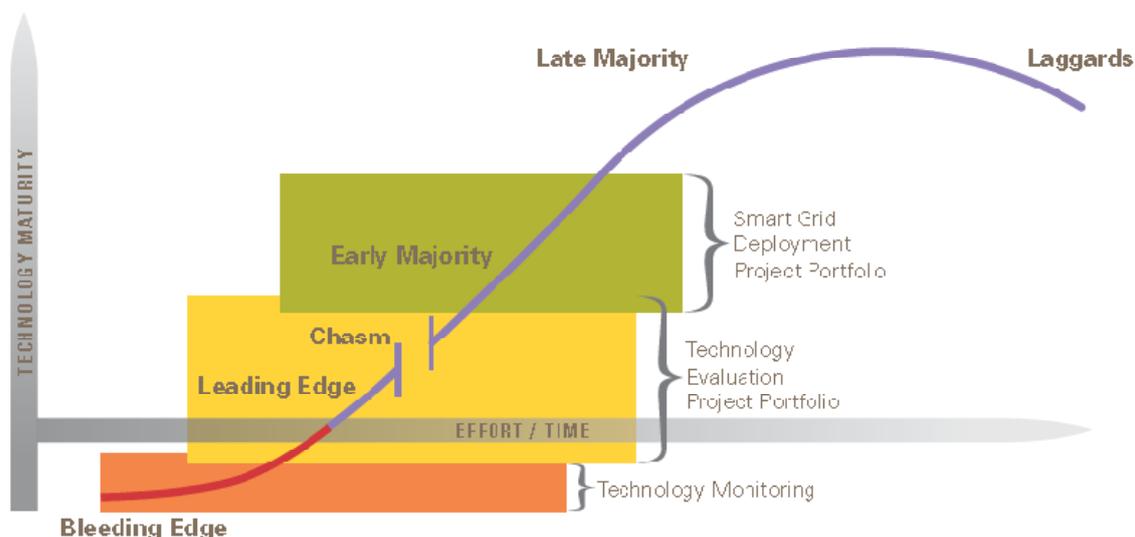
---

1 - phasor measurement unit



شکل (۹): نقشه راه توسعه شبکه هوشمند - سیر تحولات تا سال ۲۰۳۰

در هر مرحله توسعه نقشه راه شبکه هوشمند، دو دستاورد باید به طور همزمان مدیریت شوند. اولین مورد دستاورد پیاده سازی شبکه هوشمند می باشد که شامل فناوری های شبکه هوشمند که به صورت تجاری آماده عرضه به بازار و پیاده سازی بر روی شبکه هستند می باشد. دومین دستاورد، دستاورد ارزیابی فناوری شامل شناسایی، آزمایش و ارزیابی فناوری های جدید و پیشرفته ای است که در هر دوره ایجاد و به سازندگان معرفی می شود. در این دستاورد باید قابلیت های این فناوری های نوظهور سنجیده شود تا برای تولید تجاری و پیاده سازی بر روی شبکه در دوره بعد آماده گردند. در شکل ۱۰ تمایز بین این دو دستاورد در چارچوب زمان و رشد فناوری نشان داده شده است.



## شکل (۱۰): دستاوردهای پروژه‌های شبکه هوشمند بر حسب رشد فناوری

پروژه‌های دستاورد ارزیابی فناوری (در نمودار پیشرفت فناوری) در دوره‌ی ابتدایی و دوره رو به پیشرفت وجود دارند. این پروژه‌ها نیازمند توجه و ارزیابی بیشتر خواهند بود تا وارد عرصه پیاده‌سازی شبکه هوشمند شوند. فناوری‌هایی که در این دوره‌ها شناسایی و عرضه می‌شوند باید با همکاری دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی مورد بررسی قرار گیرند و در آزمایشگاه‌های مجهز مورد ارزیابی قرار گیرند.

دستاورد پیاده‌سازی شبکه هوشمند شامل برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های شبکه هوشمند خواهد بود. در این پروژه‌ها باید فناوری‌هایی که به مرحله تولید تجاری رسیده‌اند، در پیاده‌سازی شبکه هوشمند مورد استفاده قرار گیرند. همانطور که در منحنی بلوغ فناوری به چشم می‌خورد، در دوره پیشرفت زود، یک وقفه به چشم می‌خورد. اکثر شرکت‌های برق ترجیح می‌دهند تا از کامل و کارا بودن فناوری‌ها اطمینان حاصل نمایند و بعد از آنها استفاده نمایند. لذا در دوره پیشرفت زود ممکن است وقفه‌ای در بکارگیری و پیاده‌سازی فناوری‌ها حاصل شود. پس از اطمینان حاصل شدن از کارایی فناوری و گذشت زمان، در دوره پیشرفت دور، پیاده‌سازی و بکارگیری این فناوری‌ها به صورت تجاری از سر گذشته خواهد شد.

در ادامه هر یک از مراحل پیاده‌سازی نقشه راه شبکه هوشمند که در شکل ۹ نشان داده شده است مورد بررسی قرار خواهد گرفت و جزئیات پروژه‌های انجام گرفته در هر مرحله شرح داده خواهد شد.

۴-۱ مرحله ۱: زیر ساخت<sup>۱</sup> (۲۰۰۸ - ۱۹۹۵)

مرحله اول پیاده‌سازی نقشه‌راه شبکه هوشمند مربوط می‌شود به کلیه کارهای بنیادی و زیرساختی لازم به منظور بکارگیری سیستم‌های پیشرفته کنترل و اندازه‌گیری که از اواسط دهه ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۰۸ به طول انجامید. فعالیت‌های شرکت SCE در این دوره شامل تجربه پیاده‌سازی فناوری‌های کنترل و اندازه‌گیری در سطح گسترده، پیشگام شدن در نصب سیستم‌های اندازه‌گیری فاز سنکرون، اتوماسیون پست‌ها و سیستم توزیع و نصب کنتورهای هوشمند برای مشتریان تجاری و صنعتی خود بوده است. همچنین شرکت SCE یک مرکز مدیریت انرژی برای دستیابی به اطلاعات مصرف انرژی مشتریان صنعتی و تجاری خود به صورت به هنگام ایجاد نمود. ایالت کالیفرنیا به عنوان یکی از پیشتازان عرصه هوشمندسازی شناخته شده است و جوایز متعددی را در این راستا دریافت نموده است. نمونه‌های دیگری از فعالیت‌های انجام شده در مرحله اول در جدول ۴-۱ آورده شده است.

1 - Foundation

جدول ۴-۱ آمار توسعه نقشه راه شبکه هوشمند در مرحله ۱

۲۷	تعداد کل واحدهای اندازه‌گیری فاز نصب شده در شبکه انتقال
✓	سیستم پیشرفته مدیریت انرژی
٪۵۶	تعداد کل پست‌های اتوماسیون شده (درصد از تعداد ۹۰۰ پست)
٪۰	ترانسفورماتورهای پست مجهز به DGA
٪۳۳	کل پست‌های با تاخیر کم و پهنای باند مخابراتی بالا
✓	سیستم‌های مدیریت توزیع و کنترل بار
٪۴۱	کل مدارهای شبکه که بروز عیب در آن‌ها کاهش داده شد (٪ از ۴۴۰۰ مدار شبکه)
٪۴۱	کل مدارهای شبکه که اتوماسیون شده‌اند (٪ از ۴۴۰۰ مدار شبکه)
٪۳۱	داده‌های میکروپروسور
۳۱۰۰	کابل‌های فیبر نوری (طول به مایل)
2784MN 2.4 MW	کل ظرفیت منابع تجدیدپذیر نصب شده در: شبکه انتقال شبکه توزیع
1548MW	کل ظرفیت پاسخگویی بار
٪۱۰۰	کنتور هوشمند مشترکین تجاری و صنعتی بزرگ
٪۰	مشترکین تجاری و صنعتی کوچک و مشتریان خانگی

#### ۲-۴ مرحله ۲: آگاه‌سازی و اتوماسیون<sup>۱</sup> (۲۰۱۲ - ۲۰۰۹)

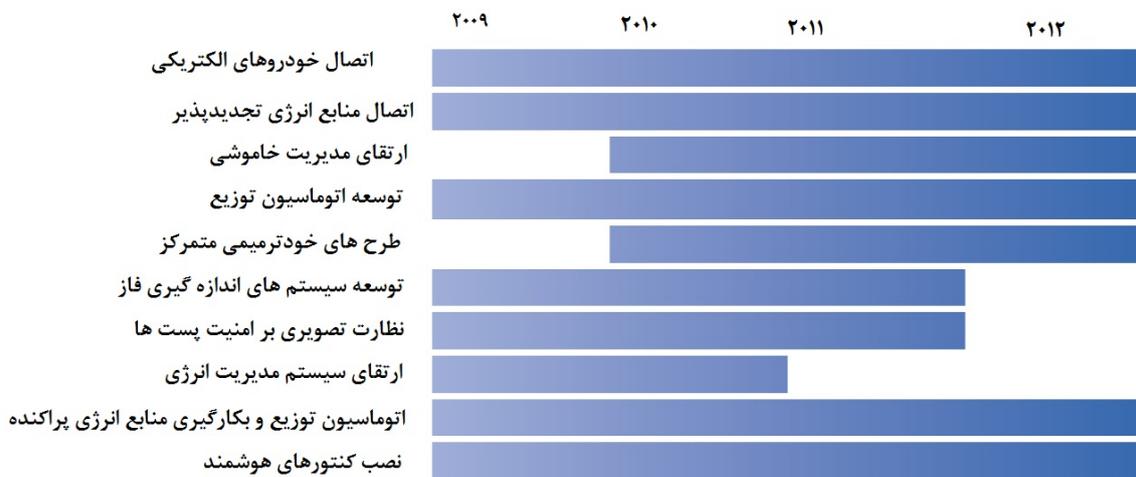
##### طرح توسعه شبکه هوشمند در مرحله ۲

بر اساس فناوری‌های اولیه‌ای که در طول مرحله ۱ بکار گرفته شد، شرکت SCE در حال حاضر مشغول اجرای پیاده‌سازی طرح‌های سیستم‌های اطلاعات، اندازه‌گیری و کنترل به صورت کامل و پیشرفته تا انتهای سال ۲۰۱۲ می‌باشد. سرمایه‌ای در حدود ۱/۵ میلیارد دلار برای انجام پروژه‌های این دوره اختصاص یافته است. بزرگترین این پروژه‌ها نصب کنترهای هوشمند برای بیش از پنج میلیون مشتری ایالت کالیفرنیا بوده

<sup>1</sup> -Inform & Automate

است که در قالب برنامه Edison SmartConnect اجرا شد. همچنین در بخشی از این پروژه برنامه نصب ترموستات‌های پاسخگو نیز اجرا شد تا بتوان بستری را برای نمایش میزان مصرف انرژی برای مشتریان فراهم آورد. به منظور دسترسی مشتریان به قیمت‌های زمان حقیقی برق، امکان خرید و استفاده از تجهیزات شبکه مخابراتی محلی با قیمت پایین برای مشتریان فراهم شد.

در طول این دوره واحدهای اندازه‌گیری فاز (PMU) برای تمام پست‌های 500 kV و 330kV نصب شد. همچنین شرکت SCE بهبود قابل توجهی در سیستم‌های بهره‌برداری و کنترل شبکه خود ایجاد نمود تا شبکه قابلیت پذیرش ظرفیت بالایی از منابع انرژی پراکنده و تجدیدپذیر را داشته باشد. پروژه‌های در حال انجام در مرحله ۲ نقشه‌راه شبکه هوشمند ایالت کالیفرنیا در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل (۱۱): خط زمانی توسعه نقشه‌راه در مرحله ۲

### طرح‌های ارزیابی فناوری‌های شبکه هوشمند

ارزیابی فناوری در مرحله ۲ شامل موارد بیان شده در زیر می‌باشد.

- ارزیابی فناوری ذخیره‌سازهای انرژی
- بهره‌برداری یکپارچه از منابع انرژی پراکنده و تجدیدپذیر
- توسعه و تست قابلیت کار با هم تجهیزات شبکه خانگی و تجهیزات شارژ خودروها
- توسعه استانداردهای امنیت سایبری و قابلیت کار با هم برای آینده شبکه
- بررسی مهندسی و مطالعه بر روی تاثیر نحوه بهره‌برداری از شبکه الکتریکی بر روی منابع دینامیک، پخش بار دو طرفه شبکه توزیع و فناوری‌های جدید اضافه شده به شبکه
- فناوری‌های افزایش بهره‌وری و ایمنی پرسنل

شرکت SCE تاکنون موفق به کسب جوایز متعددی از طرف دپارتمان انرژی آمریکا (DOE) شده است. این جوایز به خاطر اجرای خوب پروژه‌های پایلوت و ارزیابی فناوری‌های شبکه هوشمند بوده است. در ادامه به چند نمونه از این پروژه‌ها اشاره شده است.

پروژه شبکه هوشمند Irvine: این پروژه نمایش کاملی از یک شبکه هوشمند در مقیاس کوچک بوده است. در این پروژه تمام بخش‌های شبکه، نظیر خطوط انتقال، توزیع و مشتریان مدنظر قرار گرفته‌اند. حتی استفاده از تجهیزات هوشمند درون منزل و بکارگیری خودروهای الکتریکی نیز مورد آزمایش قرار گرفت. در این طرح پایلوت تعدادی از خانه‌ها برای انرژی خالص صفر (تبادل انرژی صفر) مورد آزمایش قرار گرفتند. این خانه‌ها مجهز به سلول‌های خورشیدی، ذخیره‌سازهای انرژی و تجهیزات هوشمند بودند. همچنین در طی این پروژه، مدل‌های مختلف اجرای بازار در سطح خرده‌فروشی و با حضور منابع تولید پراکنده مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت.

پروژه ذخیره‌سازی انرژی بادی Tehachapi: بکارگیری و ارزیابی یک واحد باتری لیتیوم-یون به ظرفیت ۸ مگاوات در کنار نیروگاه بادی به منظور بهبود عملکرد شبکه. در راستای این پروژه طرح‌های گسترش فناوری باتری‌ها و به مرحله ساخت تجاری رساندن آن‌ها و نصب در سطوح مختلف شبکه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین پروژه‌هایی در راستای بکارگیری خودروهای الکتریکی، پارکینگ‌های هوشمند، نصب واحدهای خورشیدی در منازل و... در ایالت کالیفرنیا در حال انجام می‌باشد. از دیگر طرح‌های ارزیابی فناوری‌ها که باید در طی مرحله ۲ نقشه راه صورت پذیرد در جدول ۴-۲ آورده شده است.

جدول ۴-۲ توسعه استانداردها در مرحله ۲

عنوان طرح	نیاز به استاندارد
دادن حق انتخاب به مشتریان	توسعه استانداردهای تبادل خودکار داده‌ها و طرح‌های پایلوت تحویل داده‌ها به شرکت‌های خدماتی
	شناسایی و توسعه استانداردهای برقراری ارتباط خودروهای الکتریکی
	توسعه استانداردهای زیرساخت شارژ خودروهای الکتریکی
بهره‌وری کار و ایمنی پرسنل	ارائه استانداردهای قابلیت سازگاری برای تجهیزات مختلف خانگی شامل وسایل هوشمند، سیستم مدیریت انرژی خانگی و نمایشگر داخل
	ارائه نمونه جدیدی از استانداردهای ایمنی کارکنان مطابق با فناوری‌های به‌روز
یکپارچه‌سازی منابع انرژی پراکنده و تجدیدپذیر	ارائه استانداردهای یکپارچه‌سازی منابع تولید پراکنده و مولدهای تجدیدپذیر
	توسعه استانداردهای ذخیره‌سازهای انرژی

استانداردهای کنترل شبکه (اندازه‌گیری فاز، اتوماسیون پست و توزیع)	بهره‌وری و انعطاف‌پذیری شبکه
توسعه و تحلیل استانداردهای مخابراتی شبکه هوشمند	امنیت سایبری و فناوری‌های اطلاعاتی و مخابراتی
استانداردهای مخابراتی شبکه مخابراتی شبکه (HAN)	
استانداردهای امنیت سایبری	
استانداردهای مدیریت داده‌ها و قابلیت سازگاری	

در خاتمه مجموعه‌ای از طرح‌های ارزیابی فناوری که نیاز به زمان بیشتری خواهند داشت و بررسی نتایج آنها خارج از زمانبندی مرحله ۲ می‌باشد، در جدول ۴-۳ آورده شده است. ارزیابی این فناوری‌ها به دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۳ محول شده است.

جدول ۴-۳ پروژه‌های ارزیابی فناوری

همکاران	عنوان پروژه	موضوع
PG & E SDG & E CAISO	آزمایش کاربام محصولات شرکت‌های خدماتی نظیر فناوری‌های نمایشگر درون منزل و پاسخگویی بار	دادن حق انتخاب به مشتریان
Itron, Ford, GM	آزمایش و توسعه فناوری اتصال و یکپارچه‌سازی خودروهای الکتریکی	
Calstart	مهندسی ارزش برق‌رسانی خودروها به شبکه	
Ford, Eaton Altech	توسعه ماشین‌های الکتریکی سنگین و متوسط	بهره‌وری کار و ایمنی پرسنل
TBD	توسعه تجهیزات ایمنی کارکنان شرکت برق	
CSULA	توسعه مدیریت دانش بنیان شبکه هوشمند	
IDEO	ایجاد سیستم‌های بصری و مجهز به نمایشگر در بهره‌برداری شبکه	
TBD	بهره‌گیری از تجهیزات رباتیک در شبکه	بهره‌وری و انعطاف‌پذیری شبکه
DOE	سیستم‌های پیشرفته کنترل و پایش کل شبکه	
PSERC	سیستم مطالعات به منظور کاهش تلفات اینرسی	
TBD	پروژه نصب سیستم‌های تهویه هوای مطبوع هوشمند	
شرکت‌های مختلف	توسعه اینورترهای هوشمند	
ابرسانای آمریکا	بکارگیری محدود کننده‌های جریان خطا (FCL) که مجهز به فناوری ابرسانا می‌باشد در خطوط ۱۳۸ کیلوولت.	

Waukesha	ترانسفورماتورهای توزیع مجهز به ابرسانا	
EPRI, GE	بهره‌وری شبکه	
CASIO DOE CEC, A123	پروژه ذخیره سازی انرژی باد Tehachapi	یکپارچه‌سازی منابع انرژی پراکنده تجدیدپذیر
CEC, UWIG	ارزیابی ذخیره‌سازی انرژی باد	
Tesla, GE	برنامه انجمن ذخیره‌سازی انرژی	
EPRI PG & E	ذخیره‌سازی هوای فشرده	
Stanford	معماری کنترل غیرمتمرکز	امنیت سایبری و فناوری‌های اطلاعاتی و مخابراتی

### ۳-۴ مرحله ۳: اجرا<sup>۱</sup> (۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹)

#### طرح‌های توسعه شبکه هوشمند در مرحله ۳

در مرحله سوم نقشه راه شبکه هوشمند کالیفرنیا، فناوری‌هایی که در مراحل قبل مورد تایید قرار گرفته و به مرحله تولید صنعتی رسیده‌اند برای پیاده‌سازی در شبکه مورد استفاده قرار خواهند گرفت. در این مرحله به‌روزرسانی فناوری‌های شبکه و ارتقای سطح تجهیزات آن صورت خواهد پذیرفت که با عنوان Grid 2.0 نامیده می‌شد. در جدول ۴-۴، نمونه‌ای از تغییرات و فعالیت‌های لازم برای تبدیل Grid 1.0 به Grid 2.0 آورده است. شبکه مدنظر در مرحله ۳ (Grid 2.0) باید اتوماسیون سیستم‌های تولید، انتقال و تحویل انرژی به طور کامل صورت پذیرد. همچنین در مرحله ۳ توسعه نقشه راه باید با بهره‌گیری از تجهیزات نوین مانند ذخیره‌سازهای انرژی و فناوری‌های نرم‌افزاری مانند سیستم‌های محاسبات و تحلیل پیشرفته بتوان تمام قابلیت‌ها و مزایای مورد انتظار در شبکه هوشمند را به واقعیت تبدیل نمود.

جدول ۴-۴ گذار به شبکه مدرن Grid 2.0

Grid 2.0	Grid 1.0
غیرمتمرکز (پراکنده)	متمرکز
چند طرفه	یک طرفه
فیدبک‌های ثابت	فیدبک‌های محدود
سرمایه‌گذاری‌های کوچک با تعداد زیاد	تعداد کم سرمایه‌گذاری‌های بزرگ

<sup>1</sup> - Interactive

تاکید بر کار حاصل از انرژی	تاکید بر روی سرمایه‌گذاری و زیرساخت
تولیدکنندگان فعال، مصرف‌کنندگان غیرفعال	مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان در ارتباط با هم و فعال هستند.
تمرکز بر روی عرضه برق و گاز	تمرکز بر روی فراهم کردن گرما و توان
تخصص و مهارت متمرکز	تخصص و مهارت پراکنده
عرضه انرژی بر اساس پیش‌بینی بار	تقاضا و عرضه در ارتباط با یکدیگر

چنین سیستمی توانایی یکپارچه‌سازی و مدیریت ظرفیت بالایی از منابع تولید پراکنده و تجدیدپذیر را در خود خواهد داشت. میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در ۲۰۱۰ Grid ۲۰ به شدت کاهش خواهد یافت و فناوری‌های مخابراتی با پهنای باند بالا و سرعت چشم‌گیر به راحتی با شبکه جدید سازگار خواهد شد.

چشم‌انداز شبکه هوشمند کالیفرنیا در سالهای ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ در شکل ۱۲ نشان داده شد.

شروع به کار هر کدام از این پروژه‌ها مشروط خواهد بود به انجام درست ارزیابی و بررسی فناوری‌ها در بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷. لذا شرکت SCE باید بتواند بهترین راه‌حل‌ها و فناوری‌های موجود برای دستیابی به اهداف تعیین شده در نقشه‌راه را انتخاب نماید. فناوری‌های کیدلی که در مرحله ۳ نقشه‌راه باید پیاده‌سازی شوند به شرح زیر می‌باشند.

مدیریت تجهیزات هوشمند خانگی: در این دوره باید تمامی مولدهای تولید پراکنده خانگی و تجهیزات هوشمند درون خانه، با شرکت برق و بازار برق در ارتباط کامل باشند. لذا نیاز به طراحی یک سیستم مدیریت چند عاملی می‌باشد که بتواند اتصال و ارتباط میلیون‌ها مشترک را به نحو بهینه کنترل و مدیریت



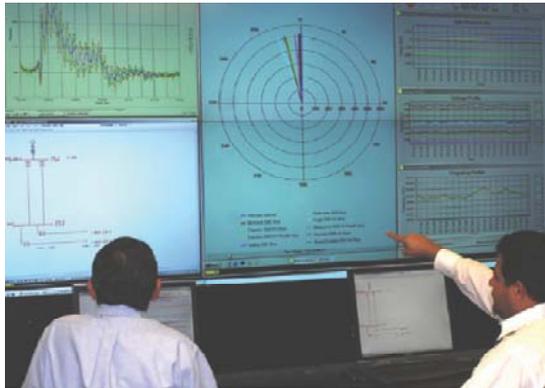
نماید. برای رسیدن به این نقطه ابتدا نیاز است یک سیستم توزیع پیشرفته داشت که در ادامه پیرامون آن بحث شده است:

توماسیون پیشرفته سیستم توزیع و پست‌ها: شبکه توزیع پیشرفته دارای فناوری‌هایی نظیر شناسایی خودکار خطا، کنترل ولتاژ-توان راکتیو پیشرفته و دارا بودن یک شبکه مخابراتی پرسرعت که بتواند ارتباط بین کنتورها و سایر تجهیزات هر دو سمت کنتورها را به راحتی برقرار نماید می‌باشند.

کنترل گسترده و همه جانبه شبکه: سرتاسر شبکه انتقال باید تحت نظر بهره‌برداری

شبکه باشد و سیستم‌های شناسایی خطا و برطرف کردن خودکار آن در همه نقاط شبکه انتقال پیاده‌سازی شوند.

شبکه مخابراتی وایرلس 4G چنین شبکه مخابراتی پرسرعت و پیشرفته‌ای برای سیستم قدرت نیاز خواهد بود تا بتواند پاسخگوی نیازهای بهره‌برداري شبکه و مشتریان باشد. یک شبکه مخابراتی 4G این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان تمامی مولدهای تولید پراکنده را تحت کنترل و پایش خود درآورد و از یک سیستم کنترل متمرکز به سمت یک سیستم پراکنده کنترلی حرکت نمود.



تحلیل و بررسی پیشرفته: سیستم‌های تحلیل و محاسبه پیشرفته این اجازه را به پرسنل شرکت‌های برق می‌دهد تا با سرعت عمل بیشتری تصمیم‌گیری نمایند و اطلاعات مفیدی را در اختیار آن‌ها قرار خواهد داد. همچنین این سیستم‌های پیشرفته با دریافت اطلاعات کنترلهای هوشمند و داده‌های سایر سنسورهای شبکه می‌توانند

تصمیم بهینه و درست برای بهره‌برداري امن شبکه را اتخاذ نمایند. این سیستم‌ها توانایی نمایش داده‌ها و ایجاد آلارم‌های متفاوت برای اطلاع‌رسانی به بهره‌بردار را خواهند داشت. با استفاده از داده‌های پردازش شده توسط سیستم‌های تحلیل پیشرفته، طراحان و برنامه‌ریزان شبکه قادر خواهند بود تا تصمیمات درستی برای برنامه‌ریزی توسعه شبکه اتخاذ نمایند.

بکارگیری ذخیره‌سازهای انرژی: فناوری ذخیره‌سازها در شبکه هوشمند کالیفرنیا جایگاه خاصی خواهد داشت و به طور گسترده در همه سطوح شبکه نصب خواهند شد.

### طرح‌های ارزیابی فناوری در مرحله ۳:

ارزیابی فناوری در مرحله ۳ مرتبط با فناوری‌های نوظهور می‌باشند که در اواخر مرحله ۲ پا به عرصه ظهور گذاشته‌اند. همچنین در این مرحله به سوالات بی‌پاسخی که در نتایج طرح‌های پایلوت به چشم می‌خورد جواب داده خواهد شد. ارزیابی فناوری‌هایی که باید در طی مرحله ۳ نقشه راه صورت پذیرد در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۴-۵ پروژه‌های ارزیابی فناوری در مرحله ۳

عنوان پروژه	طرح
توسعه سیستم‌های مدیریت عمر کاری و مفید تجهیزات شبکه	بهره‌وری و انعطاف‌پذیری شبکه
توسعه سیستم‌های کنترل ولتاژ و پخش بار توزیع به منظور کاهش تلفات	
توسعه فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی برای پوشش عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر	یکپارچگی و اتصال منابع انرژی تجدیدپذیر و پراکنده

سیستم‌های کنترل و پایش پیشرفته که توانایی کنترل اینورترهای هوشمند و منابع انرژی پراکنده را دارا باشد.	
تحقیق پیرامون سیستم‌های اندازه‌گیری و شارژ پیشرفته خودروهای الکتریکی به منظور کنترل بهینه آن‌ها	دادن حق انتخاب به مشتری
توسعه یک سیستم مخابراتی یکپارچه برای برقراری ارتباط دو طرفه بین تجهیزات خانگی و شرکت برق	
ایجاد سیستم‌های نمایشگر و تحلیلگر اطلاعات به منظور مدیریت بهتر حجم بالای داده‌های دریافتی	امنیت سایبری و فناوری‌های اطلاعاتی و مخابراتی
ارزیابی و ارائه یک سیستم امنیت سایبری یکپارچه که قابلیت اجرا بر روی تمام زیر سیستم‌های شبکه هوشمند را دارا باشد.	
ارزیابی و توسعه یک پایگاه دانش و استفاده از تجربیات در تشکیل این بانک داده.	امنیت کارکنان شرکت برق و افزایش بهره‌وری آن‌ها

#### ۴-۴ مرحله ۴: پیاده‌سازی کامل و بهره‌برداری<sup>۱</sup>

در مرحله ۴ پیاده‌سازی نقشه راه شبکه هوشمند ایالت کالیفرنیا، باید هماهنگی و همکاری لازم بین بخش‌های اطلاعاتی و سیستم‌های انرژی شبکه ایجاد شده باشد. اهدافی که در طی اجرای مرحله ۴ به دنبال آن هستیم شامل داشتن یک سیستم با زمان پاسخگویی سریع‌تر می‌باشد. این شبکه دارای تعداد بسیار زیادی سنسور و کنتورهای هوشمند بوده و اطلاعات دریافتی این تجهیزات با سرعت بالایی پردازش و تصمیمات و عکس‌العمل‌های لازم به سرعت اتخاذ و اعمال می‌گردد.

پیش‌بینی ما این است که در طی دهه ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ دستاوردهای بزرگی در زمینه فناوری‌های شبکه هوشمند حاصل خواهد شد. شرکت SCE پیش‌بینی نموده که سهم منابع انرژی تجدیدپذیر در کل شبکه به ۳۳٪ خواهد رسید. تعداد خودروهای الکتریکی که تحت سرویس شبکه خواهد بود به بیش از یک میلیون دستگاه قبل از سال ۲۰۲۵ خواهند رسید. در آن دهه تعداد زیادی از ساختمان‌های تجاری و خانگی دارای تبادل انرژی صفر خواهند بود که در آن‌ها مولدهای تجدیدپذیر، باتری، خودروها و سیستم‌های مدیریت انرژی پیشرفته به چشم می‌خورد. این اهداف نتیجه اتصال بیش از ۲۰ میلیون عامل (شامل انسان‌ها و تجهیزات) در ایالت کالیفرنیا می‌باشد. همچنین برق‌رسانی خودروها به شبکه، استفاده از ریزشبکه‌ها و منابع تولید پراکنده به عنوان یکی از حق انتخاب‌های ارائه شده توسط شبکه الکتریکی به مشتریان و شرکت‌های

<sup>1</sup> - Intuitive & Transactive Grid

خدماتی خواهد بود. این شبکه با عنوان Grid 2.1 شناخته شده و دارای سیستم مخابراتی کارا و با امنیت سایبری بالا می‌باشد. در جدول ۴-۶ نمونه‌ای از فناوری‌ها و فعالیت‌هایی را که باید در ۵ سال اول دهه ۲۰۲۰ صورت پذیرد مشخص شده است.

جدول ۴-۶ پروژه‌های ارزیابی فناوری در مرحله ۴

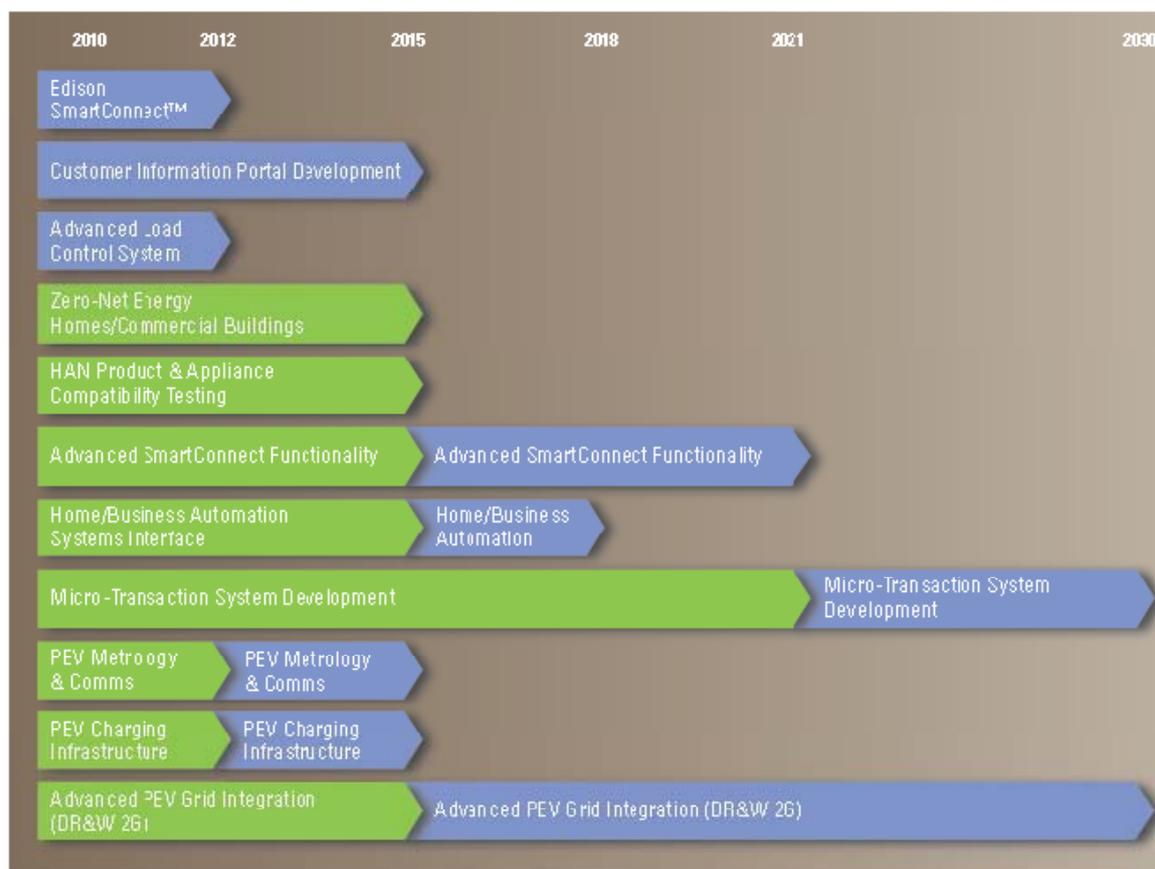
عنوان پروژه	طرح
<p>شبکه الکتریکی به عنوان مجموعه‌ای از شبکه‌های زیرمجموعه خود شناخته می‌شود که سطح پیچیدگی آن به شدت افزایش یافته است:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• انجام تحقیقات و طراحی سیستم‌ها به منظور مدیریت افزایش پیچیدگی سیستم‌های انتقال، توزیع و مشتریان و همچنین روابط بین آن‌ها</li> <li>• تعریف مجدد شاخص‌های خطرپذیری و ناپایداری در برنامه‌های بهینه‌سازی سیستم</li> <li>• مشخص نمودن اینرسی سیستم و معایب آن</li> <li>• بکارگیری مواد ابر رسانای در تجهیزات شبکه</li> <li>• ترانسفورماتورهای ابر رسانا و محدود کننده جریان خطا</li> <li>• کابل‌های ابر رسانا</li> <li>• ذخیره‌ساز انرژی مغناطیسی ابر رسانا</li> </ul>	بهره‌وری و انعطاف‌پذیری شبکه
توسعه و بکارگیری نسل‌های جدید ذخیره‌سازهای انرژی	یکپارچه‌سازی منابع انرژی پراکنده و تجدیدپذیر
پایش و کنترل پیشرفته اینورترهای هوشمند که همراه منابع انرژی پراکنده می‌باشند.	
ارزیابی و توسعه قابلیت اتصال و برق‌رسانی خودروها به شبکه پوشش شبکه الکتریکی به منظور انجام میلیاردها دلار داد کوچک انرژی در بازارهای برق	دادن حق انتخاب به مشتریان
ارزیابی و توسعه روش‌های برقراری ارتباط بر مبنای هوش مصنوعی و مدیریت مبادلات تجاری مهم	امنیت سایبری و فناوری اطلاعاتی و مخابراتی

#### ۴-۵ خلاصه نقشه راه فناوری

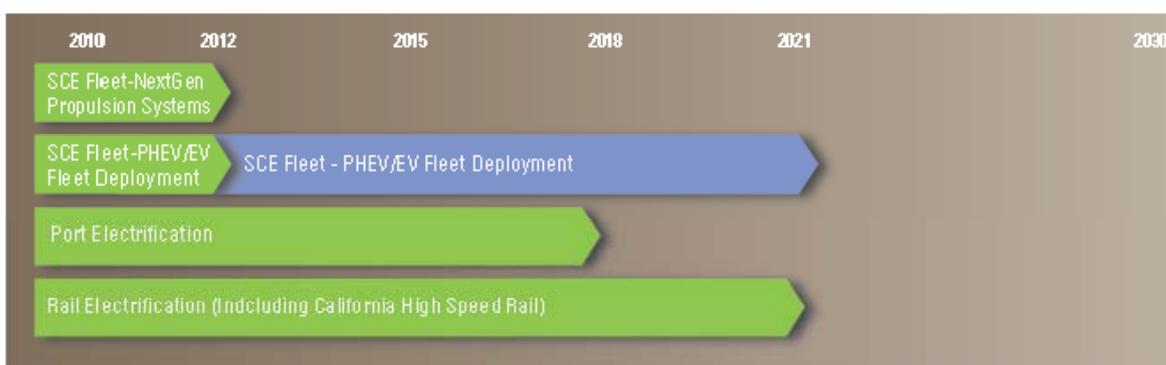
پیاده‌سازی شبکه هوشمند سفری دراز می‌باشد که در حدود ۳۰ سال به طول خواهد انجامید. در این سفر دراز محل‌های کلیدی و مشخصی در بین راه وجود دارد. اولین محل در این مسیر نصب بیش از ۵ میلیون

کنتور هوشمند برای مصرف‌کنندگان می‌باشد که باید تا پایان سال ۲۰۲۰ میلادی صورت پذیرد. مرحله مهم بعدی دستیابی به اهداف سیاست‌های ایالتی و فدرال مشخص شده تا پایان سال ۲۰۲۰ می‌باشد. این سیاست‌ها دو رویکرد انرژی و شرایط زیست‌محیطی را دنبال می‌کنند. در ادامه در طی مسیر نقشه راه به صورت مصور در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

### Customer Energy Smart Solution



### Advanced Electric Transportation





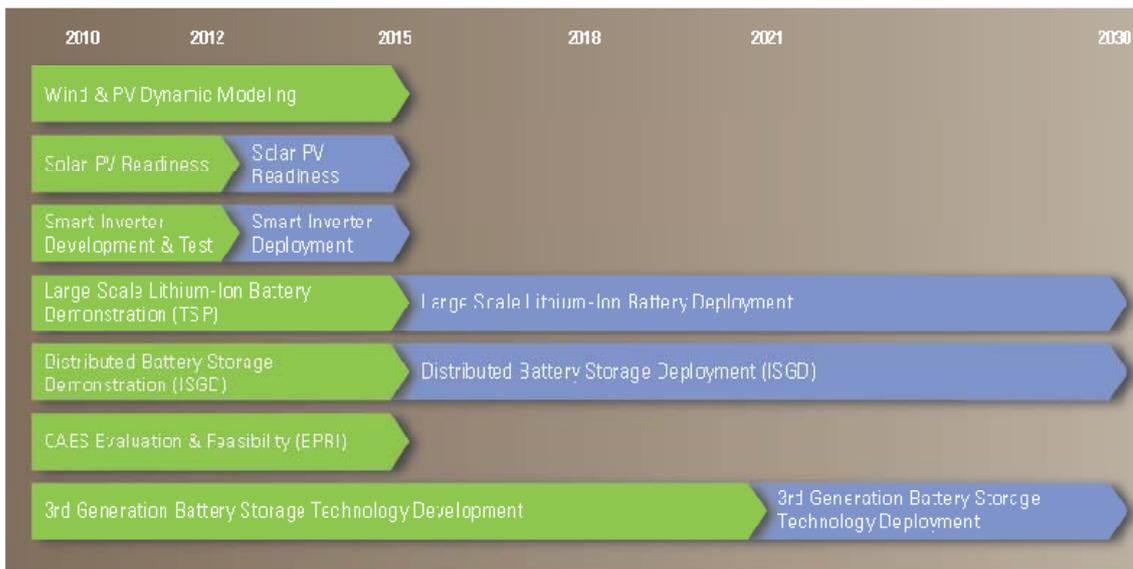
### Workforce Safety & Effectiveness

■ Technology Evaluation ■ Deployment



### Renewables & DER Integration

■ Technology Evaluation ■ Deployment





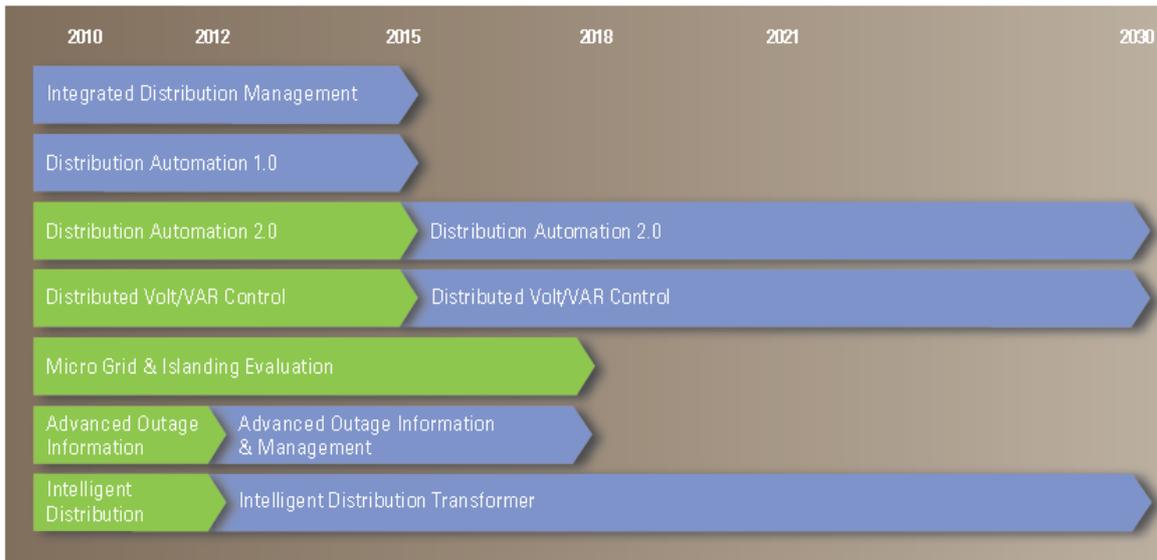
**Grid Efficiency & Resiliency**

■ Technology Evaluation ■ Deployment

**Transmission/Substation**



**Distribution**





### Information & Communication Technologies

■ Technology Evaluation ■ Deployment



شکل (۱۲): خلاصه نقشه راه فناوری های شبکه هوشمند

مرجع:

Southern California Edison Smart Grid Strategy & Roadmap Online available, at: [http://asset.sce.com/Documents/Environment%20-%20Smart%20Grid/100712\\_SCE\\_SmartGridStrategyandRoadmap.pdf](http://asset.sce.com/Documents/Environment%20-%20Smart%20Grid/100712_SCE_SmartGridStrategyandRoadmap.pdf)





تهران - شهرک قدس - انتهای بلوار شهید دادمان (پونک باختری) - بعد از پل یادگار امام -  
پژوهشگاه نیرو - ساختمان معاونت امور انرژی - طبقه دوم - صندوق پستی ۶۳۳۸-۱۴۱۵۵

تلفن : ۷-۸۸۰۸۴۷۶۶ ، ۹-۸۸۰۸۵۰۰۶ ، ۸۸۰۸۴۳۱۰ ، ۸۸۳۶۸۷۵۴