



گزارش مدیریتی و نقشه راه ادامه طرح

ساخت ابر خازن الکتروشیمیایی بر پایه ترکیبات

نانومتخلخل کربنی - (فاز ۱)

پژوهشکده توسعه صنایع شیمیایی

گروه صنایع شیمیایی معدنی

• مقدمه

در سال های اخیر با رشد قابل توجه وسایل الکترونیکی و همچنین آلودگی محیط زیست به علت مصرف بی رویه سوخت های فسیلی؛ تحقیقات زیادی در خصوص توسعه منابع انرژی پایدار در سراسر جهان انجام شده است. با افزایش تقاضای انرژی، توسعه فن آوری های کارآمد، پاک و تجدید پذیر برای ذخیره سازی و تبدیل انرژی یکی از اولویت های مهم جوامع جهانی به شمار می رود.

منابع تجدید پذیر مانند انرژی خورشیدی، آبی و باد از کارآمدترین راه حل ها در این زمینه می باشند. با این حال به دلیل نوسانات زیاد در فرایند تولید، برق تولید شده از این منابع انرژی باید به طور موثر ذخیره شده و در زمان مورد نیاز انرژی مورد تقاضا را ارائه نماید. در میان دستگاه های مختلف باتری ها و ابرخازن ها دو فن آوری مهم ذخیره انرژی هستند. از لحاظ میزان انرژی قابل ذخیره ابرخازن ها حدواسط باتری ها و خازن های دی الکتریک محسوب می شوند ولی چگالی توان ابرخازن ها بسیار بالاتر بوده و می تواند انرژی زیادی را در زمان کوتاه ارائه نمایند. همچنین قابلیت شارژ بسیار سریع و طول عمر بالا (چرخه شارژ/دشارژ در حدود ۱۰۰ هزار بار) از قابلیت های منحصر بفرد ابرخازن الکتروشیمیایی می باشد. ویژگی های اشاره شده موجب شده است که از ابرخازن ها به شکل تجاری برای کاربردهای متنوعی مانند لوازم الکترونیکی مصرفی، اتوبوس و قطار های برقی، تجهیزات پایدار کننده شبکه برق رسانی، ذخیره برق در نیروگاه های آبی، بادی و خورشیدی، تجهیزات نظامی (رادارها و مهمات)، جایگزینی یا تقویت باتری ها، وسایل نقلیه هیبریدی (تامین انرژی و تامین توان شتاب) و... مورد استفاده قرار بگیرند.

سیستم های حمل و نقل پاک، وابستگی زیادی به ابرخازن های الکتروشیمیایی دارد. در سال های اخیر از ابر خازن به عنوان یک وسیله ذخیره انرژی پیشرفته که قابلیت شارژ سریعی دارند در اتوبوس های برقی داخل شهری (e-bus) به کار گرفته شده است. به طور مثال در اتوبوس برقی که توسط شرکت Aowei معرفی شد، ابرخازن مورد استفاده تنها با شارژ در حدود ۹۰ ثانیه که به راحتی در ایستگاه های ورود مسافر قابل انجام است، می تواند مسافتی در حدود ۱۰ کیلومتر را پیمایش نماید که دستاورد مناسبی در تامین انرژی پاک وسایل نقلیه عمومی محسوب می شود. همچنین در اتومبیل های جدید از ابرخازن برای تامین انرژی سیستم های استارت خودرو استفاده می شود.

خودروهای الکتریکی نیز برای شتابگیری سریع نیازمند ابرخازن می‌باشند. خودروهای هیبریدی جدید از سیستم های مولد برق از ترمز برای استفاده بهینه از انرژی استفاده می کنند که از ابر خازن الکتروشیمیایی تشکیل شده است. همچنین از ابر خازن ها می توان برای ذخیره سازی انرژی ترمز در شبکه مترو شهری نیز استفاده نمود. در صورت استفاده از ترمز بازیافتی به جای ترمز مکانیکی در قطار های برقی می توان از انرژی ذخیره شده در شتابگیری قطار ها استفاده نمود که بدینوسیله جریان و توان کشیده شده از منبع تغذیه کاهش چشمگیری پیدا خواهد نمود. همچنین ابرخازن ها در وسایل و تجهیزات نظامی مانند رادارها، منبع ذخیره اضطراری، تجهیزات رادیویی، سیستم راه انداز تانک ها و زیردریایی ها و مهمات ویژه مورد استفاده می باشد. همچنین از دیگر کاربردهای مهم ابرخازن ها به تجهیزات و ادوات نظامی (رادارها، وسایل ارتباط رادیویی، تجهیزات راه انداز تانک و مهمات نظامی) و تجهیزات پزشکی می توان اشاره کرد.

جدول ۱ مثال هایی از ابرخازن های مورد استفاده به همراه کاربرد، ظرفیت خازنی و ولتاژ کاری را ارائه نموده است. به طور مثال شرکت shanghai Greentech ابرخازن با ظرفیت ۱۰۰/۰۰۰ فاراد و ولتاژ ۷/۲ ولت را برای جایگزینی باتری های خودروهای هیبریدی ارائه نموده است. همچنین شرکت Aowei ابر خازن با ظرفیت ۲۲۰۰ فاراد و ولتاژ ۵۰۰ ولت برای استفاده در لوکوموتیو ها ارائه نموده است.

جدول ۱: مثال هایی از ابرخازن های تولید شده توسط شرکت های مختلف سازنده به همراه کاربرد، ظرفیت خازنی و ولتاژ کاری

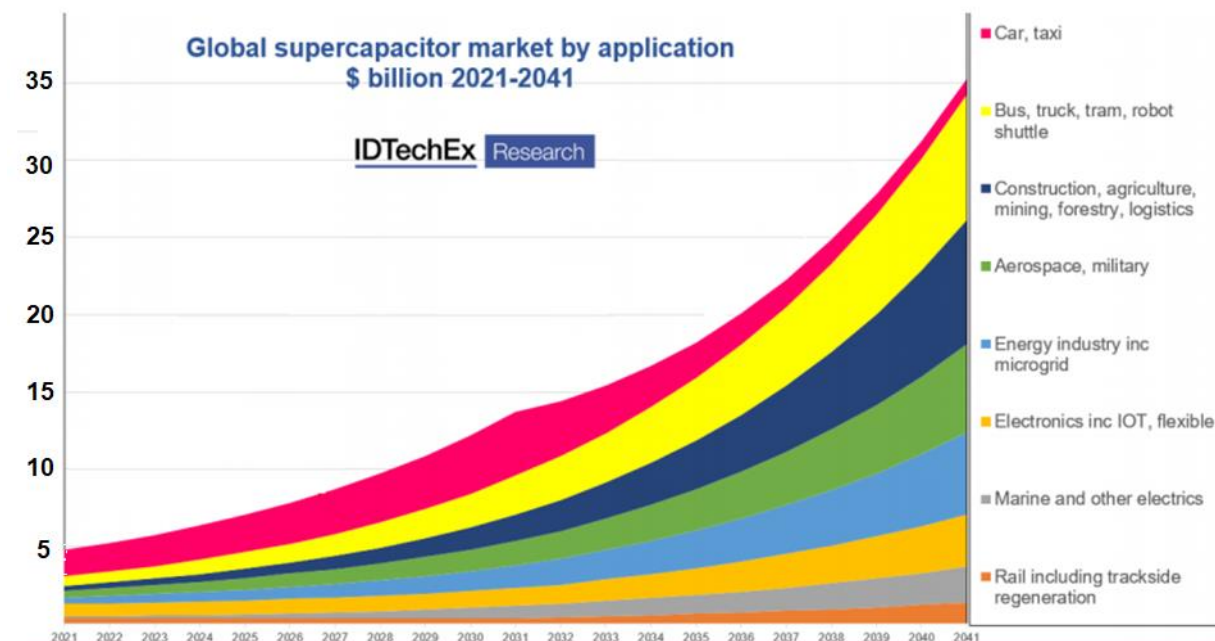
Examples of the large emerging market for 0.1 kWh to 1MWh supercapacitors

Supplier	kWh	C F	V	Application of large supercapacitor pack	Chemistry
Arvio	7.1	na	na	On- and off-grid inverter battery replacement	LIC
Aowei	60	2200	500	Locomotives	LIC
	9.5	583	500	Tram, marine charger, power compensator.	
	32	605	500	City bus, mining locomotive, tunnel locomotive, port truck	
	0.1	100,000	2.7	Complete battery replacement in mild hybrid car. Peak shave in full hybrid car	
Shanghai Greentech	0.1	100,000	2.7	Complete battery replacement in mild hybrid car. Peak shave in full hybrid car	LIC
Jianghai	1.1	7500	32	AGV, power grid, EV, train, elevator	LIC
Maxwell	0.235	7.1	1300	UPS, microgrid balancing	EDLC
Maxwell+ partner	8.0	na	na	Photovoltaic smoothing and load shifting	
Maxwell-Freqcon	150	na	na	Microgrid	
LS Ultracapacitor	0.145	62	129.6	Hybrid bus, tram, trolley, heavy duty transport, harbour cranes, ESS electricity purifier.	EDLC
Eaton	900	130 F	62 stack	Hospital UPS and peak shaving.	EDLC
Dongguan Gonghe	7.5	8.5	48	Heavy transport	EDLC
Integrator Oerlikon	0.33	na	na	Large mining excavators	EDLC
Office of Naval Research USA	8.2	na	na	Rail gun	EDLC

طراحی و ساخت ابرخازن الکتروشیمیایی با کارایی بالا یکی از موضوعات تکنولوژیکی بسیار مهم در دنیا می باشد که تکنولوژی آن در انحصار چند شرکت بین المللی می باشد. تدوین دانش فنی ساخت ابر خازن الکتروشیمیایی از نیازهای بسیار مهم و استراتژیک کشور برای تامین انرژی پایدار کشور به ویژه برای توسعه صنعت خودروسازی کشور محسوب می شود.

• بازار جهانی ابرخازن های الکتروشیمیایی

گردش مالی فروش ابرخازن های الکتروشیمیایی در جهان در حال حاضر حدود ۵ میلیارد دلار برآورد می شود و این بازار سالانه با نرخ قابل توجه حدود ۲۵ درصد در حال رشد می باشد (شکل ۱). ارزیابی های انجام شده نشان می دهد که حدود ۴۰ درصد مصرف ابرخازن الکتروشیمیایی در ساخت خودروهای هیبریدی و برقی می باشد. دیگر مصرف مهم این تجهیزات در ساخت اتوبوس های برقی می باشد که حدود ۱۵ درصد بازار مربوطه را شامل می شود. توربین های بادی و تجهیزات UPS هم به ترتیب حدود ۱۰ و ۵ درصد بازار ابرخازن الکتروشیمیایی را به خود اختصاص داده اند. همچنین برآورد های انجام شده نشان می دهد که ارزش این بازار در سال ۲۰۴۰ به حدود ۳۵ میلیارد دلار خواهد رسید.

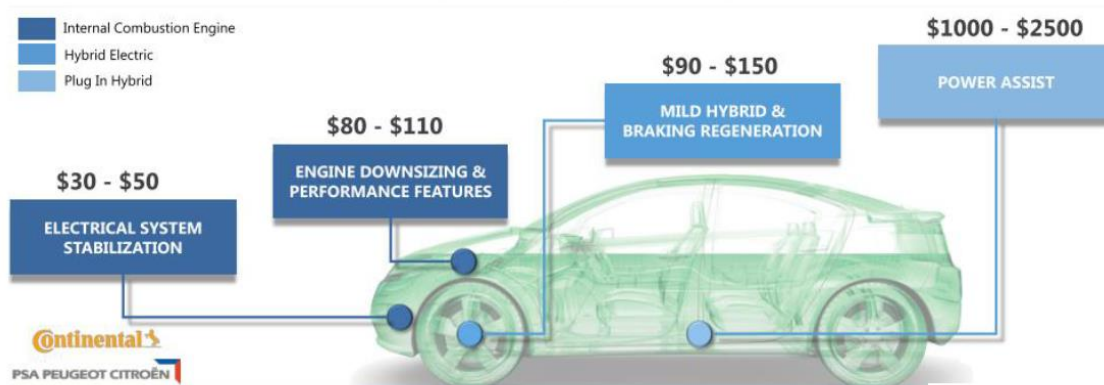


شکل ۱: نمودار رشد بازار ابرخازن الکتروشیمیایی

لازم به ذکر است که بررسی های انجام شده نشان می دهد ارزش تقریبی ابرخازن های الکتروشیمیایی مورد استفاده در هر خودرو برقی حدود ۳۰۰۰ دلار می باشد که در ساخت منبع انرژی کمکی با توان بالا، ترمزهای مولد برق، پایدارسازی سیستم برق خودرو مورد استفاده می باشند (شکل ۲).

Supercapacitors in the Automotive Sector

Vehicle Electrification driving Ultracapacitor Adoption in Automotive



شکل ۲: موارد استفاده و ارزش تقریبی ابر خازن الکتروشیمیایی مورد استفاده در خودرو های هیبریدی و برقی

در حال حاضر تمامی نیاز کشور به وسیله ذخیره انرژی ابرخازن از طریق واردات تامین می شود. در صورت بومی سازی دانش فنی ساخت این وسایل گام مهمی در خصوص تجاری سازی این تجهیزات استراتژیک که موارد مصرف متعدد و متنوعی دارند برداشته خواهد شد. باید اشاره نمود که وسایل ذخیره انرژی از جمله مواردی هستند که با اعمال تحریم شرایط تامین آنها به سختی امکان پذیر می باشد و پیش بینی می شود ابرخازن های الکتروشیمیایی یکی از گلوگاه های اصلی در توسعه صنایع خودرو سازی داخلی در سال های آتی خواهد بود.

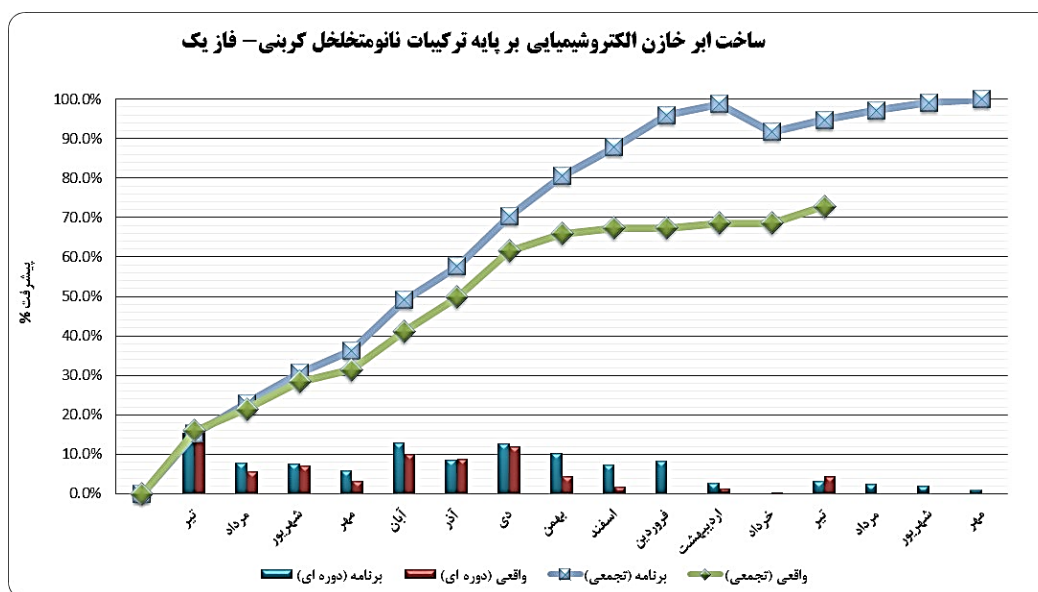
• اقدامات انجام شده در این طرح

تا کنون فاز ۱ (مطالعات کتابخانه ای) و فاز ۲ (خرید مواد و تجهیزات مورد نیاز، بهینه سازی سنتز و الکترولیت) این طرح (جدول ۲ و شکل ۳) تکمیل شده است و فاز ۳ نیز (طراحی و ساخت و برآورد اقتصادی) پس از نصب باقیمانده تجهیزات در ماه های آتی طبق جدول زمانبندی پروژه انجام خواهد شد.

جدول ۲: پیشرفت کار طرح تا پایان تیر ماه ۱۴۰۰ پیشرفت برنامه ای

WBS	عنوان فعالیت	تاریخ شروع شمسی	تاریخ پایان شمسی	درصد وزنی (%)	پیشرفت واقعی	پیشرفت برنامه ای	مبلغ (میلیون ریال)
0	ساخت ابرخازن الکتروشیمیایی بر پایه ترکیبات نانومتخلخل کربنی	99/4/1	1400/7/30	100	72.8	94.8	۲۳۰۰۰
1	فاز مطالعاتی	99/4/1	99/6/28	25	25	25	۵۰۰۰
1.1	جمع آوری اطلاعات	99/4/1	99/4/30	10	10	10	۲۰۰۰
1.2	تکمیل مطالعات	99/4/1	99/5/29	10	10	10	۲۰۰۰
1.3	تهیه گزارش فاز مطالعاتی	99/4/31	99/6/28	5	5	5	۱۰۰۰
2	فاز آزمایشگاهی	99/5/30	1400/5/31	45	45	42.82	۱۰۲۰۰
2.1	خرید مواد و تجهیزات	99/5/30	1400/4/31	15	15	15	۹۰۰۰
2.2	بهینه سازی نمونه آزمایشگاهی	99/7/28	1400/5/31	16	16	15.5	۳۳۵۰
2.1.1	سنتز نانو مواد کربنی	99/7/28	99/9/27	11	11	11	۲۲۰۰
2.1.1.1	سنتز نمونه آزمایشگاهی	99/7/28	99/9/27	5	5	5	۱۰۰۰
2.1.2	آزمون های تعیین ساختار با استفاده از خرید خدمت	99/7/28	99/9/27	3	3	3	۶۰۰
2.1.3	آزمون های الکتروشیمیایی عملکردی	99/7/28	99/9/27	3	3	3	۶۰۰

WBS	عنوان فعالیت	تاریخ شروع شمسی	تاریخ پایان شمسی	درصد وزنی (%)	پیشرفت واقعی	پیشرفت برنامه‌ای	مبلغ (میلیون ریال)
2.2.2	انتخاب الکترولیت و حلال	99/7/28	1400/5/31	5	5	4.5	۱۱۵۰
2.2.1	آزمون های الکتروشیمیایی عملکردی	99/7/28	1400/5/31	5	5	4.5	۱۱۵۰
2.3	سنتز ماده کربنی در مقیاس بالاتر	99/9/28	1400/5/31	11	11	9.68	۲۶۵۰
2.3.1	سنتز نمونه کربنی	99/9/28	1400/5/31	5	5	4.4	۱۱۵۰
2.3.2	آزمون های تعیین ساختار با استفاده از خرید	99/9/28	1400/5/31	3	3	2.64	۷۵۰
2.3.3	آزمون های الکتروشیمیایی عملکردی	99/9/28	1400/5/31	3	3	2.64	۷۵۰
2.4	گزارش فاز آزمایشگاهی	99/9/28	1400/5/31	3	3	2.64	۶۰۰
3	فاز طراحی و ساخت	99/10/28	1400/7/30	30	2.8	26.98	۷۸۰۰
3.1	طراحی و ساخت ابرخازن با ظرفیت 20 فارادی و ولتاژ ۲۰۷ ولت	99/10/28	1400/7/30	8	2.8	5.16	۲۲۰۰
3.2	طراحی و ساخت ابرخازن با ظرفیت ۵۰ فارادی و ولتاژ ۲۰۷ ولت	1400/6/1	1400/7/30	8	0	7.91	۲۲۰۰
3.3	طراحی و ساخت ابرخازن با ظرفیت 360 فارادی و ولتاژ ۲۰۷ ولت	1400/6/1	1400/7/30	8	0	7.91	۲۲۰۰
3.4	برآورد اقتصادی	1400/7/1	1400/7/30	3	0	3	۶۰۰
3.5	گزارش نهایی	1400/7/1	1400/7/30	3	0	3	۶۰۰



شکل ۳: نمودار پیشرفت پروژه

جدول ۳: لیست تجهیزات خریداری شده

ردیف	مواد و تجهیزات	نصب شده	در حال ترخیص از گمرک
۱	کوره	✓	
۲	آب مقطر گیری فوق خالص	✓	
۳	سانتریفیوژ	✓	
۴	هموژنایزر	✓	
۵	راکتورهای سنتز (سیستم فیلتراسیون و پمپ خلاء)	✓	
۶	سیستم گاز بی اثر	✓	
۷	الکترولیت ها (حلال و نمک)	✓	
۸	پتانسیوگالوانو استات	✓	
۹	کارل فیشر	✓	
۹	تستر شارژ و دشارژ		✓
۱۰	فویل آلومینیومی هادی جریان		✓
۱۱	جدا کننده الکترولیت		✓
۱۲	سیستم آماده سازی و پرس الکتروود		✓

• چشم انداز آتی طرح

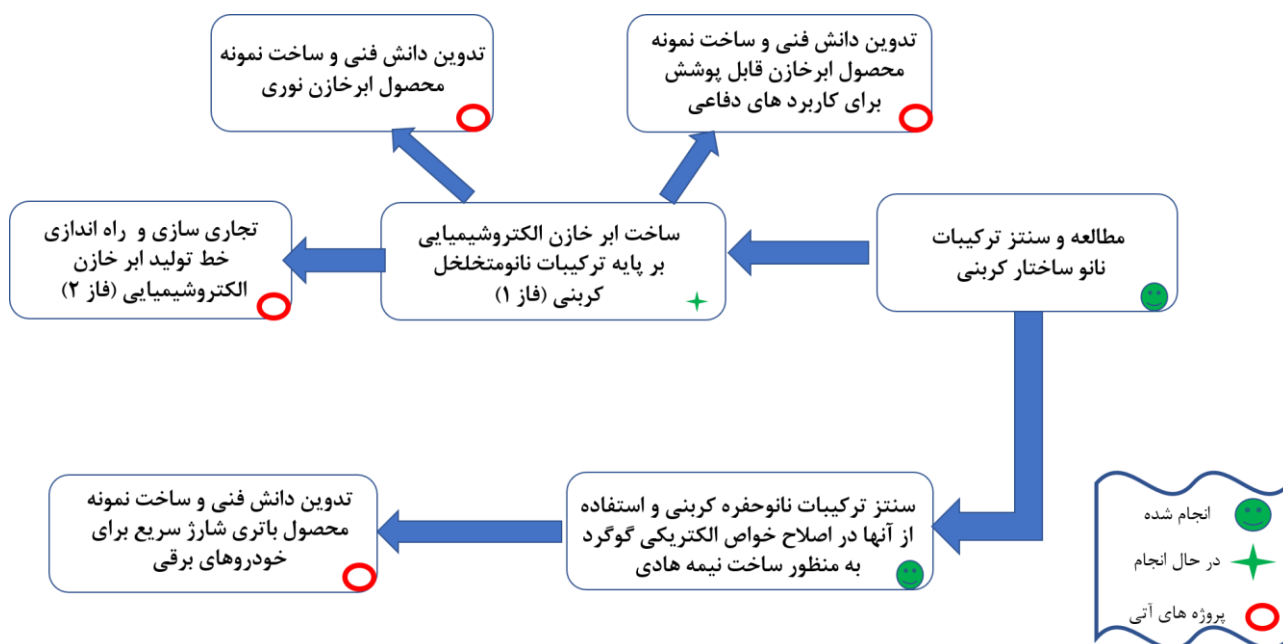
تکمیل چرخه فناوری از اهداف استراتژیک کشور محسوب می شود. این پژوهشکده با سابقه اجرای پروژه های مرتبط با سنتز و تولید نانو مواد متخلخل کربنی (شکل ۴) و تربیت چندین دانشجوی کارشناسی ارشد و دکتری در این حوزه، اقدام به اجرای پروژه فناورانه "ساخت ابر خازن الکتروشیمیایی بر پایه ترکیبات نانومتخلخل کربنی - (فاز ۱)" نموده است. با اجرای این پروژه، نسبت به بومی سازی ساخت ابر خازن الکتروشیمیایی که تکنولوژی آن فقط در اختیار چند شرکت خاص خارجی می باشد اقدام خواهد شد. ایجاد فناوری بومی این تجهیزات به کاهش وابستگی منجر خواهد شد. با تکمیل این طرح پیشنهادات ذیل (شکل ۴ و جدول ۴) جهت گسترش و تکمیل فعالیت ها در این حوزه ارائه می شود.

➤ راه اندازی خط تولید ابر خازن الکتروشیمیایی در داخل کشور که علاوه بر اشتغال زایی زمینه قطع وابستگی را فراهم خواهد نمود.

➤ پیشنهاد می شود برای توسعه فعالیت ها در زمینه ابرخازن الکتروشیمیایی فعالیتهای تحقیقاتی در خصوص موضوعات ابر خازن های قابل پوشش و ابرخازن های نوری انجام پذیرد. این تجهیزات جزو نسل جدیدی از وسایل ذخیره سازی انرژی محسوب می شوند که به طور ویژه در زمینه های دفاعی کاربرد دارند. در ابر خازنهای پوششی مواد فعال الکترودی در سطح پارچه های کربنی خاص به شکل انعطاف پذیر پوشش داده می شوند. تجهیز حاصل شده می تواند نیاز فوری انرژی کاربر را فراهم آورد. همچنین ابر خازن های نوری دسته ای از این تجهیزات هستند که منبع انرژی مورد استفاده نور خورشید می باشد که در آن انرژی خورشید محرک اصلی برای جمع آوری بار در سطح الکتروود های ابر خازن می باشد. عمده استفاده این تجهیزات در کاربردهای نظامی می باشد.

➤ باتری های شارژ سریع از نیازهای اصلی صنایع خودروسازی محسوب می شود. یکی از موانع اصلی در توسعه خودروهای برقی زمان زیاد شارژ خودرو می باشد. از این رو فعالیت های تحقیقاتی در سال های اخیر به شکل فزاینده ای بر روی توسعه تکنولوژی کاهش زمان شارژ به همراه افزایش انرژی باتری متمرکز شده است

و شرکت های معتبر فعالیتهای خود را در این زمینه گسترش داده اند و ارائه محصولات کارآمد در این خصوص جزو استراتژی های اصلی آنها محسوب می شود. از این رو پیشنهاد می شود تحقیقات مناسب و لازم در خصوص بومی سازی دانش فنی ساخت باتری های شارژ سریع مورد نیاز صنایع خودرو سازی انجام گیرد.



شکل ۴: نمودار پروژه های انجام شده و پیشنهادی مرتبط با وسایل ذخیره انرژی در پژوهشکده توسعه صنایع شیمیایی

جدول ۴: پروژه های پیشنهادی آتی و برآورد هزینه

ردیف	عنوان طرح	پیش بینی هزینه	
		میلیون ریال	یورو
۱	راه اندازی خط تولید ابر خازن الکتروشیمیایی	۳۵/۰۰۰	۵۰۰/۰۰۰
۲	تدوین دانش فنی ساخت و ساخت نمونه محصول باتری شارژ سریع برای خودروهای برقی	۳۰/۰۰۰	۳۰۰/۰۰۰

۵۰/۰۰۰	۲۰/۰۰۰	تدوین دانش فنی و ساخت نمونه محصول ابرخازن قابل پوشش برای کاربرد های دفاعی	۳
۵۰/۰۰۰	۲۰/۰۰۰	تدوین دانش فنی و ساخت نمونه محصول ابرخازن نوری	۴