ارائه مدلهای عملیاتی جهت تامین قطعات و تولید خودرو در کلاس جهانی
"مورد مطالعه خودروهای الکتریکی "

مریم سپهری نور دانشجوی دکترا هوش مصنوعی دانشگاه صنعتی شریف Ma.Sepehri@ikco.ir
علیرضا اصغریور کارشناس ارشد مدیریتA.Asgharpour@ikco.ir
شهرام شاهنده کارشناس ارشد متدولوژیSh.Shahandeh@ikco.ir
شادی حبیبی کارشناس ارشد مدیریتSh.Habibi@ikco.ir
فاضل امامی کارشناس مهندسی مکانیکEmami@ikco.ir

شرکت ایران خودرو ، معاونت استراتژی و برنامه ریزی

چکیده

با وجود مزایای قابل توجه خودروهای الکتریکی، این خودروها عموماً بدلیل قیمت بالا، محدودیت مسافت قابل پیمایش، زمان مورد نیاز جهت شارژ و . . . با استقبال زیاد مشتریان مواجه نشده اند، لذا کشورهای مختلف با هدف گسترش فرهنگ استفاده از خودروهای الکتریکی، مشوق ها و تخفیف های زیادی را برای خریداران خودروهای الکتریکی در نظر گرفته اند. در کنار این اقدامات، شرکتهای خودروساز و تامین کننده، اقدامات و سرمایه گذاری گسترده ای را در جهت تجاری سازی و کاهش قیمت تمام شده خودروهای الکتریکی و نیز رفع ایرادات این نوع از خودروها (در مقایسه با خودروهای با سوخت فسیلی)، در اولویت برنامه های خود قرار داده اند.

بدین ترتیب نقش مهم و غیرقابل انکار توسعه خودروهای الکتریکی در صنعت خودرو سازی، باعث شده تا مفهوم زنجیره تامین، چهره ای جدیدتر و متحول تر به خود گرفته و از مدلهای کلاس جهانی استفاده گردد . این تحولات کلیه ارکان مرتبط از جمله: تامین کنندگان، تولیدکنندگان، نمایندگان فروش و خدمات پس از فروش، در کلیه فرآیندهای درون سازمانی و برون سازمانی را شامل می شود. ویژگی های زنجیره تامین جهانی شامل استفاده از سیستم های اطلاعاتی اکتیو ، بهینه سازی موجودی ها ، انعطاف پذیری ، قدرت تطبیق با تغئیرات ، پایداری و بقا ، قابلیت ردگیری و شفافیت در توسعه زنجیره ارزش خودروهای برقی لحاظ می گردد.

در این مقاله، ابتدا با ارائه مدلهای عملیاتی متفاوت در ساخت و تولید خودروهای الکتریکی، به بررسی تاثیر تولید این نوع از خودروها بر فرآیندهای درون سازمانی و بیرون سازمانی مرتبط با زنجیره تامین، خواهیم پرداخت. سپس مدلهای عملیاتی ارائه شده را در کلاس بندی اصول مدیریت با هدف دستیابی به درک بهتر از عملیات تولید و مفاهیم لجستیک مربوط به آنها، در زمینه تولید خودروهای الکتریکی، به کار خواهیم گرفت و نهایتاً مدل عملیاتی پیشنهادی جهت پیاده سازی در کشور ایران، مطابق با شرایط فعلی بازار و تولید خودرو در این کشور ارائه خواهد شد.

واژه های کلیدی

خودروهای الکتریکی، مدیریت زنجیره تامین قطعات

۱- مقدمه

بحران انرژی، آلودگی هوا و گرمایش زمین به عنوان بزرگترین چالش های محیط زیستی در دو دهه اخیر شناخته شده اند. ایـن امر سبب شده تا کشورهای توسعه یافته و در حـال توسعه برای بهبود راندمان مصرف انرژی، کاهش آلودگی هوا و حل بحران گرمایش زمین به یک

اجماع جهانی برسند. با توجه به موارد ذکر شده و نیز با توجه به نقش و سهم قابل توجه صنعت خودرو در بحران های ذکر شده، شرکت های خودروساز جهانی طراحی و توسعه خودروهای هیبریدی و الکتریکی را در اولویت برنامه های خود قرار داده اند (جدول ۱)، و اما! قیمت بالا، محدودیت مسافت قابل پیمایش، زمان مورد نیاز جهت شارژ و . . .، مانعی بر سر راه استقبال گسترده از خودروهای الکتریکی، با وجود کلیه مزایای قابل توجه این نوع از خودروها می باشد. بنابراین علاوه بر مشوق ها و تخفیف های درنظر گرفته شده توسط دولت ها برای خریداران این خودروها، شرکتهای خودروساز و تامین کننده نیز اقدامات و سرمایه گذاری های گسترده ای را در جهت تجاری سازی و کاهش قیمت تمام شده خودروهای الکتریکی در اولویت برنامه های خود قرار داده اند (جدول ۲). در این راستا پیشرفتهای روزافزون در حوزه طراحی پژوهش و ساخت خودروهای الکتریکی، تغییر و تحول در زمینه خدمات زنجیره تامین مخصوص آنها را نیز ناگزیر می نماید. این تحولات طبعاً کلیه فرایندهای بالادستی، درون سازمانی و پایین دستی را تحت تاثیر قرار می دهد.

جدول ۱: برنامه توسعه خودروهای الکتریکی به تفکیک کشورهای مختلف تا سال ۲۰۲۰

Countries with announced targets to 2020 or later	2015 EV stock (thousand vehicles)	2020 EV stock target (million vehicles)	EV share of all cars sold between 2016 and 2020	EV share in the total 2020 stock	Source
Austria	5.3	0.2	13%	4%	BMVIT,2012
China	312.3	4.6	6%	3%	State Council, 2012
Denmark	8.1	0.2	23%	9%	ICCT, 2011
France	54.3	2.0	20%	6%	MEEM, 2011
Germany	49.2	1.0	6%	2%	IA-HEV, 2015
India	6.0	0.3	2%	1%	LBNL, 2014
Ireland	2.0	0.1	8%	3%	SEAI, 2014
Japan	126.4	1.0	4%	2%	METI, 2016
Netherlands	87.5	0.3	10%	4%	EVI, 2016a
Portugal	2.0	0.2	22%	5%	IA-HEV, 2015
South Korea	4.3	0.2	4%	1%	MOTIE, 2015
Spain	6.0	0.2	3%	1%	MIET, 2015
United Kingdom	49.7	1.6	14%	5%	EC, 2013 and CCC, 2013
United States	101.0	1.2	6%	2%	IA-HEV, 2015
Total of all markets listed above	814.1	12.9	7%	3%	

تغییر و تحول ناشی از ساخت خودروهای الکتریکی در زمینه خدمات زنجیره تامین، عمدتاً در زمینه تکنولوژی باتری ها،موتورهای الکتریکی و تولید گیربکس خواهد بود، که باعث ایجاد تحول در ماهیت و سطح هماهنگی لجستیک میان سالنهای تولید می گردد و البته نه تنها بر جریان ورودی مواد از تامین کنندگان بالادستی تاثیر دارد، بلکه بر جریان تامین پایین دستی و ادامه زنجیره تامین تا توزیع خودروی کامل به بازارو همچنین مراحل تولید درون سازمانی نیز تاثیر می گذارد.لذا صنعت خودرو بایستی در زمینه زنجیره ارزش بالا دستی و پایین دستی وهمچنین فعالیتهای درون سازمانی ، طرحی نو دراندازد.

جدول ۲: مشوق های ارائه شده توسط دولتهای مختلف در راستای گسترش استفاده از خودروهای الکتریکی

	EV purchase incentives				EV use and circulation incentives				Waivers on access restrictions			Tailpipe emissions standards		
	Rebates at registration/sale	Sales tax exemption (excl.VAT)	VAT exemption	Tax credits	Circulation tax exemption	Waivers on bus (e.g. toll, parking, ferries)	Electricity supply infrastructure exemptions	Tax credits (company cars)	Access to bus lanes	Access to HOV lanes	Access to restricted traffic zones*	Fuel economy standards/ regulations including elements	Road vehicle tailpipe pollutant emissions standards	Market share of electric cars in 2015
Canada													Tier 2	0.4%
China													China 5	1.0%
Denmark													Euro 6	2.2%
France													Euro 6	1.2%
Germany													Euro 6	0.7%
India													Bharat 3	0.1%
Italy													Euro 6	0.1%
Japan													JPN 2009	0.6%
Netherlands													Euro 6	9.7%
Norway													Euro 6	23.5%
Portugal													Euro 6	0.7%
South Korea													KOR II	0.2%
Spain													Euro 6	0.2%
Sweden													Euro 6	2.4%
United Kingdom													Euro 6	1.0%
United States													Tier 2	0.7%

Legend: No policy; Targeted policy**; Widespread policy***; Nationwide policy; General fuel economy standard, indirectly favouring EV deployment; Pollutant emissions standard in place in 2015

رویکردی که در این مقاله پیشنهاد می شود، می تواند در تعامل میان فعالیتهای ساخت و لجستیک، که نقشی کلیدی در اثربخشی کلی زنجیره تامین خودروسازان دارد، موثر واقع شود و گامی باشد در جهت ارزیابی اینکه ساخت خودروهای الکتریکی، چگونه روند واقعی و آتی زنجیره تامین را در صنعت خودروسازی،دگرگون می سازد.

۲- روش تحقیق

در این مقاله طرح تحقیقی- اکتشافی، با رویکردی چند بعدی و هدف دستیابی به درکی درست از زنجیره تامین ساخت و تولید خودروهای الکتریکی،اتخاذ شده است. در این راستا به جمع آوری داده ها و تحلیل آنها با استفاده از مطالعات موردی اکتشافی پرداخته شده است.

در این طرح، به منظور بررسی تمام جنبه های زنجیره تامین، بر اساس موقعیت های موجود در صنعت، علاوه بر استفاده از مطالعات و ادبیات موضوع مربوط به تحقیقات و نظرات خبرگان،۱۵ نمونه از خودروهای الکتریکی تولید شده را نیز، به نمایندگی از کلیه مدلهای مختلف خودروهای الکتریکی، مورد بررسی قرار داده ایم (جدول ۳). دلیل انتخاب این نمونه از خودورها، دسترسی به اطلاعات موارد مرتبط با لجستیک بوده است[۱].

جدول ۳-خودروهای برقی مورد بررسی

مدل خودروی برقی	سازنده	محل مونتاژ	نوع طراحی
I3	BMW	لایپزیگ (آلمان)	طراحی هدفمند
Mini E	BMW	آکسفورد (انگلستان)	طراحی تبدیلی
E6	BYD	شیان (چین)	طراحی هدفمند
Small for two electric drive	Daimler	هامباخ (فرانسه)	طراحی تبدیلی
A-Klasse E-Cell	Daimler	راستات(آلمان)	طراحی تبدیلی
Focus Electric	Ford	واین (آمریکا)	طراحی تبدیلی
Opel Ampera Chevrolet Volt	General Motors	همترامک(آمریکا)	طراحی هدفمند
i-MiEV C-Zero iOn	Mitsubishi Citroen Peugeot	میزوشیما(ژاپن)	طراحی هدفمند
Leaf	Nissan	یوکوسوکا(ژاپن)	طراحی هدفمند
Twizy	Renault	والادولید (اسپانیا)	طراحی هدفمند
FluenceZ.E	Renault	بورسا (ترکیه)	طراحی تبدیلی
Zoe	Renault	فلن سوغ سن (فرانسه)	طراحی هدفمند
Tesla Roadster	Tesla	هثل (انگلستان)	طراحی هدفمند
eQ	Toyota	تاکائوکا (ژاپن)	طراحی تبدیلی
RAV4 EV	Toyota / Tesla	وودستاک (کانادا)	طراحی تبدیلی

۳- صنایع بالادستی در ساخت و تولید خودروهای الکتریکی

تغییرات و تحولات آتی در زمینه زنجیره تامین خودروهای الکتریکی، در آینده نزدیک، ماهیت و سطح هماهنگی لجستیک در کارخانه ها را متحول خواهد ساخت.حذف اجزای قدیمی خودرو همچون موتورهای درون سوز و جعبه دنده های سنتی و ظهور واحدهای کاملاً جدید مانند باتریهای خاص خودروهای الکتریکی،موتورهای الکتریکی و سیستم تعلیق، باعث ایجاد تحولی در ارتباطات درون زنجیره تامین بالادستی می شود.برقی شدن خودروها به این معناست که سایر قطعات از جمله سیستم تهویه هوا، پمپ آب، ترمز و سیستم فرمان نیز باید با تکنولوژی جدید سازگار شوند [۲]. بدین ترتیب ظرفیت های جدید ایجاد ارزش در صنعت تامین ایجاد می گردد که خود حجم بالایی از حمل ونقل را در زنجیره تامین بالادستی خودروسازان به دنبال خواهد داشت و ارائه دهنده اهمیت کنترل هزینه های نقل و انتقال واحدهای[1] تکمیل شده بویژه واحدهای حجیم و سنگین مانند باتریها به خط مونتاژ،می باشد[۳].

یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده فرایندهای آتی لجستیک بالادستی از منظر یک خودروساز این است که واحدهای اصلی مانند باتریها، موتور برقی و سیستم انتقال قدرت می توانند خریداری و یا ساخته شوند. این واحدها نه تنها سیستم های دارای ارزش در خودروهای برقی می باشند بلکه تا آنجایی که به وزن و حجمشان مربوط می شود، از نظر جریان مواد و پیچیدگی فرآیند لجستیکشان نیز بسیار حائز اهمیت هستند. واحدهایی مانند موتور و سیستم انتقال قدرت که پیش از این در داخل کارخانه، تولید و بر روی خودرو نصب می شد، می تواند در آینده برونسپاری شود و این باعث تحولی شگرف در زنجیره تامین خودروسازی می شود.در خودروسازی سنتی و معمولی، قوای محرکه از ارکان اصلی توسعه و تولید داخل کارخانه، محسوب می شود، درحالیکه با ورود تکنولوژی الکتریکی، سازندگان خودرو بایستی

[1]Module

تعریفی دوباره ازمزیت رقابتی ونقطه قوت خود داشته باشند.در این میان مهمترین سوال این است که کدام قسمت از زنجیره تامین باتریها در درون کارخانه و یا در خارج از آن انجام شود. در این خصوص چهار سناریو را می توان محتمل دانست:

۱- یکپارچگی عمودی میان تولید کننده باتری و سازنده خودرو در یک کارخانه واحد[۴]
۲- مالکیت سازنده باتری توسط خودروساز
۳- تبدیل شدن سازنده باتری به خودروساز[۵]
۴- همکاری میان خودروساز با تامین کنندگان داخلی و خارجی باتری

تامین کنندگان ردیف اول که یکی از نمونه های بارز آنها سازندگان باتری هستند همواره سعی می کنند تا مهارتهای اصلی ازجمله نوآوری در باتریها و خصیصه های جدید را برای خود حفظ کنند.این مهارتها و دانش می تواند از سطح سلولهای باتری تا سیستمهای ترکیب سلولهای باتری (موازی یا سری)، نرم افزار مدیریت قدرت و گرمای باتری و تا سطح سیستمهای الکترونیکی بهینه ساز عملکرد باتری در خودرویی خاص باشد[۶].در این سناریو، سازندگان سلولهای باتری ، نقشی کلیدی را بازی می کنند زیرا دانش تحقیق و توسعه مهمی در زمینهعلم شیمی باتری ها دارند و انتقال این دانش به خودروسازان کاری است بس مشکل! علاوه براین، ۵۰٪ از هزینه تولید باتری مربوط به ساخت سلولهای باتری است[۷]که این باعث می شود تا سازندگان باتری قدرتی غالب در ساخت خودروهای برقی به حساب آیند.چین، کره و ژاپن کشورهایی هستند که در ساخت باتریها نقشی بسزایی بازی خواهند کرد[۴]از طرفی هزینه های لجستیکبالا بویژه برای باتریهای سنگین و حجیم تاثیر زیادی در محل و ساختار کلی شبکه ای ساخت خودروهای برقی خواهند داشت، بدین ترتیب تمرکز بر زنجیره تامین در بازارهای آسیا قرار خواهد گرفت. رشد فوق العاده بازار خودروی چین با داشتن بالاترین سطح تولید و فروش خودرو در جهان این مزیت را دارد تا مرکز ساخت خودروهای برقی شود.چین دارای زنجیره ارزش کاملی است و دارای بالاترین درصد داخلی سازی مجموعه قطعات مربوط به خودروهای تولیدی درداخل چینمیباشد.با وجود اینکه صنعت ساخت خودروهای برقی در مراحل ابتدایی است با این حال چین به دلیل داشتن پایه محکمدر زمینه استخراج مواد اولیه اصلی، تولید باتری و زیرساختهای تولید خودرو، این توانایی را دارد تا زنجیره ارزش مشابهی برای خودروهای الکتریکی داشته باشد[۴].

۴- مفاهیم درون کارخانه ای در ساخت و تولید خودروهای الکتریکی

در این مقاله، در راستای بررسی مفاهیم مرتبط با زنجیره تامین تولید خودروهای الکتریکی،مدلهای عملیاتی متفاوت موثر در فرآیند لجستیک پیشنهاد می شود (شکل ۱). فرآیند لجستیک متاثر از چگونگی شکل گیری عملیات ساخت و تولید از نظر منابع، فن آوری و ترتیب می باشد، بنابراین لازم است هدفی عملیات محور برای توضیح زنجیره تامین هریک از مدلهای عملیاتی پیشنهادی مد نظر قرار گیرد.هر یک از این مدلها را می توان بر اساس تعداد خودروهای تولیدی و میزان تمایز آنها با نمونه های غیر الکتریکی مشابه، از سایر مدلها تفکیک نمود.

شکل ۱: مدلهای عملیاتی درون کارخانه ای پیشنهادی در ساخت و تولید خودروهای الکتریکی

بطور کلی تعداد خودروهای تولیدی از یک مدل خاص تا حد زیادی متکی به جانمایی[۲]خودرو در سگمنتهای با تیراژ پایین، متوسط و بالاست.مهمترین مانع بر سر راه ساخت خودروهای الکتریکی بویژه در تیراژ بالا، قیمت زیاد تمام شده آنهاست، بدین ترتیب خودروهای برقی هنوز نتوانسته اند جایگزینهای مناسبی برای خودروهای درونسوز از نظر قیمتی و همچنین میزان پیمایش باشند و در نتیجه در موقعیت بازارویژه[۳] جانمایی می شوند.با توجه به اینکه تیراژ تولید در خودروهای سنتی و درونسوز برخلاف تیراژ در خودروهای برقی بالاست، لذا در این پژوهش، از تقسیم بندیهای تیراژ پایین،متوسط و بالا (تیراژهای از زیر صد تا ۱۰ هزار خودرو) استفاده شده است. دولت ها نیز در این میان نقش مهمی، در تسهیل مسایل مرتبط با هزینه ها و تیراژ تولید دارند.طبعاً زمانی که تیراژ پایین است، هزینه ها بالا می ماند و زمانی که هزینه ها بالاست، بازار در مقیاسی کوچک باقی خواهد ماند [۴]در این شرایط،صرفنظر از مسایل فنی (مانند محدودیت در میزان مسافت قابل پیمایش با هربار شارژ باتری خودرو)، تصمیمات سیاسی جهت ترغیب مصرف کننده ها (مانند اعطای امتیازات و مشوق های دولتی)باعث تعیین تیراژ تولید در آینده می شود. میزان تمایز خودروهای برقی با خودروهای غیر برقی به اصول طراحی آنها بستگی دارد.

در این رابطه دو مفهوم متفاوت وجود دارد که عبارتند از طراحی تبدیلی[۴] و طراحی هدفمند[۵][۸]. در طراحی تبدیلی از مفاهیم خودروهای سنتی و غیر برقی استفاده می شود.موتورهای بنزنی با موتور الکتریکی جایگزین می شوند بدون آن که طراحی اصلی خودرو تغییر کند و در نتیجه اجزایی که وجه مشخصه ظاهرو شکل مدل خودرو می باشند، بدون تغییر باقی خواهند ماند. از ساختارهای بدنه موجود جهت تغییر قوای محرکه نیز استفاده می شود.یک مزیت عمده این طراحی آن است کهتولید با تیراژ بالا از نظر اقتصادی مقرون به صرفه خواهد بود.شرکت خودروسازی GM از این روش در ساخت خودروی هیبرید-برقی شورلت ولت استفاده کرده که در واقع همان پلت فرم Delta II خوردوی کامپکت بنزینی این خودرو ساز میباشد.در روش طراحی هدفمند بر خلاف روش طراحی تبدیلی،ساخت پلت فرم جدید به

[2]Positioning
[3]Niche Market
[4]Conversion Design
[5]Purpose Design

همراه نیروی محرکه متناظر از ابتدا مد نظر قرار میگیرد، بنابراین امکان نوآوری های بیشتر و اعمال امکانات اضافه تر میسر میگردد[۹].شرکتها تسلا و BMW از این نوع طراحی استفاده نموده اند.

۵- مدلهای عملیاتی پیشنهادی در ساخت و تولید خودروهای الکتریکی

۵-۱- روش تولید مشترک

در این روش تولید، تمام مدلهای خودرو اعم از الکتریکی و غیر الکتریکی در یک خط مشترک تولید می گردند و در عین حال واحدها و اجزا مختلف خودروها می توانند در جای دیگر (در خطوط کناری) تولید و به خط اصلی انتقال داده شوند. جهت تولید با تیراژ بالا در این خطوط، خودروسازان بدنبال زمانهای حداقلی در هر ایستگاه کاری و خطوط با سرعتبالا بر اساس تکنولوژیهای موجود می باشند.از نتایج مهم این روش تولید، کاهش هزینه هاست[۱۰]. هدف لجستیکی مهم در این روش، استفاده بهینه از خط تولید است. در صنعت خودرو استفاده بهینه از ظرفیت تولید یک خط، دارای بالاترین ریسک مالی و چالش عملیاتی است. از این رو عملیات لجستیکی، قبل از هرچیز به استفاده بهینه از خط تولید، با هدف تامین ظرفیت متناسب با میزان تقاضای مشتری تمرکز دارد.

مفهوم طراحی تبدیلی، اساس طراحی خطوط مشترک می باشد. بر این اساس خودروهای غیر برقی با تیراژ بالا و خودروهای برقی می توانند در یک خط مشترک تولید شوند. البته، جهت داشتن بالاترین ظرفیت تولید در این خطوط مشترک، بایستی در مرحله توسعه و طراحی محصولات، موارد متناسب با تولید لحاظ شوند[۱۱]. از الزامات و ویژگی های خطوط تولید مشترک در سالنهای بدنه،رنگ و مونتاژ ، حضور نیروهای آموزش دیده و داشتن دانش فنی لازم و تبادل اطلاعات فنی می باشد که منجر به کاهش زمان فرایندهای هر مرحله از تولید خواهد شد. البته این قابلیت مستلزم صرف هزینه های بالاتر می باشد که ما را قادر می سازد تا مدلهای مختلف خودرو را در همان خط مشترک تولید نماییم.

معمولاً روش طراحی خط مشترک نیاز به صرف هزینه های عمده ای در تجهیزات خط تولید دارد. به عبارتی هزینه ساخت این نوع خطوط بالاست. از دیگر نکات شایان ذکر در رابطه با این روش آن است که بدلیل افزایش تعداد قطعات، خودروساز مجبور به داشتن انبارهای متنوع و بزرگ جهت تامین به موقع و تغذیه قطعات به خط تولید می باشد[۱۲]. در این روش داشتن برنامه تولید دقیق و نهایی از الزامات تامین به موقع قطعات مورد نیاز تولید در زمان مناسب آن می باشد. تغذیه خط بر اساس برنامه تولید، رویکردی استاندارد برای تولید مستمر و تحویل به موقع خواهد بود. در این روش تولید، کل فرآیند مونتاژ به زمانبندی دریافت قطعات وابسته است، بنابراین، اهمیت استراتژیک دسترسی و نزدیکی تامین کننده ها به تولیدکننده منجر به اطمینان از تولید و تحویل محصول براساس زمانبندی سفارشات می گردد[۱۳]. در جایی که تامین قطعات در زمان کوتاه (چند ساعت) بایستی انجام شود، تامین کننده بایستی در دسترس و در نزدیکی خط تولید باشد تا بتواند واحد مناسب را با محدودیتهای زمانبندی بموقع تامین نماید[۱۴].

یکی از عوامل حیاتی در روش تولید مشترک، مجموعه سازی مونتاژ خودرو به صورت مجموعه قطعات است. تولید کنندگان خودرو برای کاهش اثرات منفی تنوع تولید از بعد هزینه و بهره وری، از سیستم مجموعه سازی (واحد سازی) استفاده می کند[۱۵]. مجموعه سازی به معنای تقسیم قطعات خودرو به مجموعه های ساده تر با محل و نقاط نصب و

مونتاژ مشخص می باشد[۱۶]. استفاده از اصول مجموعه سازی در مرحله طراحی خودرو در ارتباط نزدیک و موثر با فرایند مونتاژ مجموعه ها بصورت مستقل در خط تولید خواهد بود، بدین دلیل جداسازی فعالیتهای تولید از طریق مجموعه سازی که منجر به افزایش راندمان و انعطاف پذیری می گردد، در صنایع خودروسازی رواج پیدا کرده است[۱۷]. با توجه به اینکه مفهوم مجموعه سازی در تولید مستلزم پیش مونتاژ مجموعه هایی از خودرو خارج از خط تولید و مونتاژ مابقی قطعات، در خط اصلی است[۱۴]، اعمال این روش تولید، نیازمند داشتن یک معماری مجموعه ای (از قطعات به واحدها)[۶] در طراحی خودرو با استفاده از مفهوم طراحی تبدیلی می باشد. و اما، نکته مهم در این جا مونتاژ قطعات برقی مربوط به خودروهای برقی در انتهای خط مونتاژ است به این معنا که مونتاژ این خودروها درایستگاه های کاری نظیر مونتاژ باتری و شارژ و کنترل آن، نیازمند صرف زمان زیادی است. این محدودیتهای تکنولوژیکی بعضاً منجر به پیچیدگی و مشکلات زیادی در استفاده از روش خط مشترک می گردد و لذا خودروسازان، روش تولید نیمه موازی (کنارگذر)[۷] را ترجیح می دهند.

۵-۲- روش تولید نیمه موازی

دراین روش تولید، جداسازی یا تجمیع عملیات تولید و پشتیبانی، به دلایل فنی یا مالی، در نظر گرفته می شوند. به عنوان مثال: رنگ آمیزی خودرو کاملاً وابسته به تیراژ و سرمایه گذاری اولیه بالا می باشد که در غالب اوقات باعث تجمیع عملیات رنگ آمیزی در یک سالن رنگ مرکزی، چه برای مدلهای معمولی و چه مدلهای برقی می گردد. برخلاف رنگ آمیزی خودرو، فرآیند شکل دادن ورق که بر اساس پنلهای فلزی بدنه، توسط خطوط پرس با زمان ساختهای پایین می باشد، می تواند برای خودروهای معمول غیرالکتریکی در یک سالن و برای خودروهای با منظور خاص[۸] مثل خودروهای الکتریکی، در سالنی جداگانه انجام پذیرد.

در تولید به روش نیمه موازی با ترکیب و جداسازی فرایندهای تولیدی در زنجیره ارزش، امکان تولید به روش نیمه موازی میسر میگردد. طراحی واحدهای خودروی برقی، جداسازی سیستم تولید را به زیر مجموعه های تولید ممکن می سازد، که در آن هر زیر مجموعه، امکان تولید مستقل و نیمه موازی را دارد. مشکل این استراتژی، لزوم استانداردسازی ترکیب بین قطعات خودروی برقی و غیر برقی است[۱۸]. بنابراین تلاش جهت استفاده از اصول پلتفرم و واحدها در طراحی خودروی برقی مساله ای حیاتی خواهد بود. با دقت در هر قسمت از فرایند تولید، مانند پرس، جوش، رنگ و مونتاژ، وابستگی هر فرآیند به قبل و بعد از آن افزایش می یابد و از این روی تطبیق و همزمانی[۹] فرایند زنجیره ارزش، عامل موفقیت اصلی برای این روش تولیدی می باشد[۱۹]. مدیریت یک سیستم تولید همزمان به منظور تامین تقاضای تولید از نظر عملکردی و لجستیکی دشوار خواهد بود[۳] به همین دلیل، به منظور جلوگیری از انباشت موجودی در انبار، می بایست جریان مواد با توجه به میزان تولید، همزمان گردد[۲۰].

در این روش، هدف، جریان مستمر و بدون اختلال مواد و قطعات بصورت هماهنگ بین خطوط تولیدی اختصاصی خودروهای برقی و خودروهای غیر برقی می باشد. جریان منظم قطعات از نظر زمان و تعداد، ضروری خواهد بود چرا که

[6] Of components into modules
[7] By-pass
[8] Purpose-built
[9] synchronization

عموماً فضایی جهت انبارداری خودروها در سالنهای تولید وجود ندارد، لذا جهت تولید هماهنگ و همزمان خطوط، به یک ضرب اهنگ مشترک که تمام واحدهای مرتبط را درگیر می کند، نیاز داریم. این علائم توسط یک ریتم[10] زمانی ایجاد می شود. ریتم زمانی برابری هر فرایند اجرایی را تضمین می کند[۲۱] و نشان از ایجاد همزمانی دور تولید با میزان تقاضا دارد. از آنجائیکه متوسط تولید خودروهای برقی در سال تنها چند هزار عدد از خودروهای تولیدی می باشد و بسیار کمتر از حجم تولید خودروهای مرسوم (غیر برقی) خواهد بود، لذا، ریتم زمانی در خودروهای برقی و غیر برقی تفاوت زیادی دارد. به منظور تضمین داشتن جریان هماهنگ و برابر قطعات و مواد تولیدی در روش نیمه موازی باید برنامه تولید، متناظر و همگن گردد. یک سیستم تولیدی ترکیبی که از نظر حجم و ترکیب خودروهای برقی و غیر برقی متعادل شده، ویژگی بارز یک فرایند تولید پایدار بوده و ظرفیت تولید اضافی را تنظیم نموده و از انبار کردن خودروها جلوگیری می نماید[۱۰]. لازمه فرایند تولید همزمان، مدیریت موثر جریان مواد و سیستمهای ارتباطی قابل اطمینان و تکنولوژیهای نوین تولیدی می باشد[۲۲].

۵-۳- روش برون سپاری تولید[11]

در صورتی که تیراژ مورد نیاز خودروهای برقی بالاتر از ظرفیت تولیدی تجمیعی خطوط موجود باشد و همچنین میزان تفاوت خودروی برقی با خودروهای تولیدی غیر برقی زیاد باشد، از روش برون سپاری تولید استفاده می شود. در این روش تولیدی که اغلب با استفاده از تولید کننده های[12] کوچک (ردیف نیم[13]) انجام می شود به این شکل است که از خطوط این تولید کننده ها برای تولید مدلهای خاص خودرو تحت برند خودروساز اصلی استفاده می گردد. بدین ترتیب این شرکتها از یک شرکت فعال مهندسی به یک تولید کننده خودروهای خاص تبدیل می شوند. این تولید کنندگان قراردادی، نه تنها طراحی و توسعه فرایندهای تولید را انجام داده بلکه مسوولیت تولید و لجستیک خودروهای برقی و همچنین خودروهای خاصی نظیر خودروهای شاسی بلند و خودروهای اسپورت و کروکی را به عهده خواهند داشت.این شرکتها بدلیل منعطف بودن و داشتن تکنولوژی بالا، تولید خودروهای خاص(خودروهای با تیراژ پایین) و خودروهای با تیراژ انبوه[14] را در اوج تقاضا و یا فاز پایانی آن، برای چند خودروساز اصلی مدیریت می نمایند. بواسطه دانش فنی و انعطاف پذیری آنها می توانند اقتصادی تر از خودروساز اصلی این مهم را انجام دهند و در نتیجه قدرت برآورده کردن تقاضاهای مشتریان در خودروساز اصلی به دلیل این توانایی تولید افزایش پیدا خواهد کرد[۲۳]. و اما این روش تولید نیازمند داشتن الزامات خاص لجستیکی در خودروساز کوچک می باشد چرا که این خودروسازان معمولاً با چند خودروساز بزرگ سروکار داشته و مدلهای متنوع برقی و غیربرقی را تولید می کنند، بنابراین باید تعداد زیادی تامین کننده، شماره فنی قطعات، کانتینرو بسته بندی را مدیریت نمایند که این خود باعث پیچیدگی جریان محصول می گردد. به علاوه هر خودروساز بزرگ دارای یک سیستم ارتباطی مستقل و خاص خود می باشد، بنابراین هر

[10] Takt یک لغت آلمانی است به معنای ریتم یا شمارش
[11] Contract manufacturing
[12] OEM
[13] Tier 0.5
[14] Volume models

خودروساز بزرگ سیستم مدیریت لجستیک منحصر بفرد خود را دارد که بایستی الزامات آن رعایت گردد و درنتیجه خودروساز کوچکتر باید فرایندهای لجستیکی را با این الزامات تطبیق و استاندارد نماید.

۵-۴- روش تولید موازی

این روش اساس کار مفهوم طراحی هدفمند جهت تولید خودروی کاملاً جدید می باشد. آزادی عمل در طراحی، منجر به تولید قطعات خاص خودروهای برقی و همچنین مجموعه های آنها می گردد. در تولید موازی خطوط مجزا برای خودروهای برقی و غیر برقی وجود دارد که مستقل از هم بوده ولی می توان از منابع مشترک برای هردو خط استفاده نمود.

تولید موازی بتدریج از مونتاژ تا بدنه سازی انجام می پذیرد. بدین شکل که تا زمانی که تولید خودروهای برقی با تیراژ پایین صورت می پذیرد، بدلیل حجم سرمایه گذاری سنگین مورد نیاز جهت ساخت سالن های بدنه و رنگ، جداسازی فقط در خط مونتاژ صورت می گیرد. در این حالت مونتاژ خودروی الکتریکی کاملا مستقل و متمرکز بر تکنولوژی مرتبط خواهد بود. البته ساخت خطوط مونتاژ مستقل نیازمند سرمایه گذاری زیاد به همراه ریسک خالی ماندن ظرفیت تولید خط می باشد. از طرف دیگر داشتن خط مستقل، منجر به برقراری جریان منظم مواد و اطلاعات در طول تولید می گردد. در خطوط تولید (مونتاژ) مستقل ویژه خودروی برقی از قطعات، رویه و دستورالعملها، مهارتهای انسانی، زمان ساخت، ابزار و تجهیزات خاص و جریان کاری خاص استفاده می گردد[۲۴]. همچنین نیازهای ویژه خودروی برقی مانند دستورالعملهای ایمنی حمل باتری در این خطوط مستقل، بهینه و موثرتر اجرا میشوند[۲۵].

در صورت افزایش تقاضای خودروهای برقی در سالهای آتی می توان از خطوط چندگانه تولید استفاده کرد. اگرچه این عدم تمرکز در تولید (مکانهای مختلف تولید) صرفه اقتصادی را به دنبال نخواهد داشت فلذا در این راستا پیشنهاد تولید در مناطقی که دارای شرایط حقوق پایین کارگران و در نتیجه هزینه های ساخت پایین باشند، مطرح می شود. طبعاً در این مورد نیز، عواملی همچون در دسترس بودن منابع محلی همانند زیرساختهای اجتماعی و صنعتی، دسترسی آسان به شبکه حمل و نقل و لجستیک و کارگران ماهر، نقش مهمی در انتخاب محل تولید خودروهای الکتریکی خواهند داشت. از دیگر پارامترهای انتخاب محل تولید، حضور و فعالیت پیشین خودروسازان در منطقه می باشد، چرا که بدین ترتیب دسترسی به تامین کنندگان، خدمات طراحی، مهندسی و تولید، لجستیک و دانش فنی تسهیل خواهد شد، بعلاوه انعطاف بیشتر در برنامه ریزی تولید و استفاده از ظرفیت تولید ممکن می شود.

عمر محصول خودروی الکتریکی با در نظر گرفتن شرایط خارجی تغییر می کند بنحوی که تولید یک خودروی برقی با تولید تیراژ پایین آغاز می گردد و امکان تبدیل به تولید با تیراژ بالا وجود دارد. برآورده کردن این منظور با تولید در سایتهای موازی مطابق با میزان تقاضای بازار صورت می پذیرد.

مفهوم لجستیک خارجی (بعد از تولید) در تولید خودروهای برقی، در قالب ایجاد شبکه شارژ مجدد و یا تعویض باتریها و نصب سیستم های اندازه گیری مصرف برق مورد بحث قرارمیگیرد[۹] و اما، ایجاد زیرساختهای شارژ باتری جهت تردد خودروهای برقی و تجهیزات اندازه گیری مصرف برق که صدور قبض برق اختصاصی را میسر می سازد نیاز به سرمایه گذاری بالا دارد[۲۶]. انتخاب یکی از سیستمهای تعویض باتری و یا سیاست شارژ باتری تاثیرات شگرفی روی

شبکه لجستیک خواهد داشت. چرا که تعویض باتریهای سنگین و گران قیمت در نقاط سرویس مخصوص، نیازمند صرف هزینه های حمل و انبارداری می باشد.

پیش بینی تحولات تکنولوژیکی و تغییرات درتولیدخودروهای برقی بجای خودروهای با موتور احتراق داخلی، تاثیرات زیادی روی شبکه خدمات پس از فروش خودروسازها دارد. طیف جدیدی از قطعات و مواد مربوط به خودروهای برقی، جریان لجستیکی در بخش خدمات بعد از فروش را تغییر می دهد. تامین کنندگان و خودروسازها که بطور سنتی تولید موتور، کلاچ و گیربکس مزیت رقابتی انها بوده است، باید استراتژیهای خود را بازنگری کرده و فرصتهای کسب و کار جدیدی را شناسایی کنند. لوازم یدکی نظیر مجموعه اگزوز و انباره در خودروهای برقی بدون استفاده می باشند. همچنین قطعات الکترونیکی نظیر استارت، دینام، پمپ بنزین و سنسورهای مرتبط در خودروهای برقی مورد نیاز نیستند[۲۷].

بدلایل فوق و نیز سرویسهای دوره ای طولانی تر در خودروهای برقی، فروش لوازم یدکی کمتر شده و در پی ان حاشیه سود کسب و کار بخش لوازم یدکی کاهش قابل ملاحظه ای می یابد. عامل اصلی تغییر، کاهش سهم قطعات مکانیکی متحرک، افزایش طول زمان سرویس های دوره ای و تعداد قطعات و مجموعه های کمتر میباشد[۲۷]، تولید کنندگان خودرو با تغییرات بزرگی در بخش فروش و توزیع مواجه میشوند به نحوی که فروشندگان و شبکه خدمات بعد از فروش باید برای پورتفولیوهای گسترده تر اماده گردند[۲].

۶- پیشنهاد به ایران

با توجه به شرایط فعلی بازار خودروی کشور ایران، که دارای شرایط بازار انحصاری، ظرفیت محدود تولید برای معدود خودروسازان این کشور، عدم وجود شناخت مناسب در خصوص خودروهای الکتریکی در بین مشتریان، فراهم نبودن زیرساخت های مناسب خودروهای الکتریکی و طبعا عدم امکان ارائه خدمات پس از فروش متناسب با این تحول، می باشد، طبعاً ارائه خودروهای الکتریکی در ابتدا با اقبال بازار مواجه نخواهد شد و با دید خوشبینانه به تدریج افزایش خواهد یافت. لذا برای این شرایط استفاده از مدل مشترک تولید، صرف هزینه های گزاف اولیه را به دنبال دارد که برای خودروسازان ایرانی عملی و با صرفه اقتصادی به نظر نمی رسد، پیاده سازی مدل تولید موازی نیز برای تیراژ های تولید بالای خودروهای الکتریکی پیشنهاد می شود که آنهم در شرایط فعلی افزایش احتمالی تدریجی در آینده، معقول نمی باشد. فلذا با توجه به مدلهای پیشنهادی ارائه شده و شرایط خاص مذکور درخصوص کشور ایران، استفاده از مدل برون سپاری تولید و یا مدل نیمه موازی پیشنهاد می گردد. در بین دو مدل پیشنهادی در ابتدا برای تیراژهای محدود خودروهای الکتریکی، مدل برون سپاری تولید با در نظر گرفتن یک تولید کننده خودروهای برقی به صورت مشترک بین خودروسازان ایرانی، و سپس برای تیراژهای بالاتر استفاده از مدل نیمه موازی در کارخانه های سازنده خودرو پیشنهاد می گردد.استفاده از مدلهای جهانی زنجیره تامین در شروع تولید خودرو های الکتریکی و هایبریدی بسیار مهم بوده و حتی میتواند نقطه عطفی جهت انتقال از وضعیت سنتی فعلی زنجیره تامین خودرو در ایران به سمت پیاده سازی الگو ها و ساختار های جدید مطابق با شاخص های جهانی مدیریت و زنجیره ارزش باشد.

نتیجه گیری

در این مقاله با ارائه مدلهای عملیاتی متفاوت بکار گرفته شده جهانی در ساخت و تولید خودروهای الکتریکی، به بررسی تاثیر تولید این نوع از خودروها بر فرآیندهای درون سازمانی و بیرون سازمانی مرتبط با زنجیره تامین، پرداخته شد. سپس مدلهای عملیاتی ارائه شده را با هدف دستیابی به درک بهتر از عملیات تولید و مفاهیم لجستیک در کلاس جهانی تولید خودروهای الکتریکی، توضیح داده و نتایج این شکل دهی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت مدل برون سپاری تولید و یا مدل نیمه موازی به عنوان یکی از مدلهای جهانی عملیاتی پیشنهادی جهت پیاده سازی در کشور ایران، مطابق با شرایط فعلی بازار و تولید خودرو در این کشور ارائه گردید.

به عنوان بخشی از تحقیقات لازم آتی پیشنهاد می شود، توسعه مفهوم زنجیره تامین در کلاس جهانی با در نظرگرفتن معیارهایی مانند هزینه های تمام شده، توسعه بازار، دانش فنی مورد نیاز و ریسکهای موجود در محیط کسب و کار جهت رسیدن به تولید خودروهای الکتریکی در کلاس جهانی ، مد نظر قرار گیرد.

مراجع

[1] Yin, R.K., *Case study research: design and methods*, 4th ed., Sage Publications, Los Angeles, 2009.
[2] Valentine-Urbschat, M. and Bernhart, W. (2009), "Power train 2020 – The Future Drives Electric", *Study Roland Berger Strategy Consultants*, München.
[3] Bennett, D. and Klug, F. (2012), "Logistics supplier integration in the automotive industry", *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 32 No. 11, pp. 1281-1305.
[4] Wang, H. and Kimble, Ch. (2011), "Leapfrogging to electric vehicles: patterns and scenarios for China's automobile industry", *International Journal of Automotive Technology and Management*, Vol. 11, No.4, pp. 312-325.
[5] Wang, H. and Kimble, Ch. (2010), "Betting on Chinese electric cars? – analysing BYD's capacity for innovation", *International Journal of Automotive Technology and Management*, Vol. 10, No. 1, pp.77-92.
[6] Hensley, R., Knupfer, S. and Pinner, D. (2009), "Electrifying cars: How three industries will evolve", *McKinsey Quarterly*, No. 3, pp. 87-96.
[7] Klink, G., Krubasik, S. and Rings, T. (2009), "Sparsam, sauber, elektrisch? Das Rennen um den Antriebder Zukunft", *Study A.T. Kearney*, Düsseldorf.
[8] Kampker, A. (2012), "Integration der E-Produktion in die laufendeSerie", *presentation at the Auto Uni Wolfsburg*, Aachen.
[9] Freyssenet, M. (2011), "Three possible scenarios for cleaner automobiles", *International Journal of Automotive Technology and Management*, Vol. 11, No. 4, pp. 300-311.
[10] Shingo, S. (1981), *Study of Toyota Production System from Industrial Engineering Viewpoint*. Japan Management Association, Tokyo.
[11] Abele, E., Meyer, T., Näher, U., Strube, G. and Sykes, R. (Eds.) (2008), *Global Production – A Handbook for Strategy and Implementation*, Springer Verlag, Berlin.
[12] Berry, W.L. and Cooper, M.C. (1999), "Manufacturing flexibility: methods for measuring the impact of product variety on performance in process industries", *Journal of Operations Management*, Vol. 17,No. 2, pp. 163-178.
[13] Bennett, D. and O'Kane, J. (2006), "Achieving business excellence through synchronous supply in the automotive sector", *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 13, No. 1/2, pp.12-22.
[14] Fredriksson, P. (2006), "Mechanisms and rationales for the coordination of a modular assembly system –The case of Volvo Cars", *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 26,No. 4, pp. 350-370.
[15] Salvador, F., Forza, C. and Rungtusanatham, M. (2002), "Modularity, product variety, production volume, and component sourcing: theorizing beyond generic prescriptions", *Journal of Operations Management*, Vol. 20, No. 5, pp. 549-75.
[16] Baldwin, C.Y. and Clark, K.B. (2000), *Design Rules – The Power of Modularity*, MIT Press, Cambridge,MA.
[17] Kinutani, H. (1997), "Modular assembly in mixed-model production at Mazda", in Shimokawa, K.,Jürgens, U. and Fujimoto, T. (Eds), *Transforming Automobile Assembly*, Springer, London, pp. 94-108.
[18] Budde Christensen, T. (2011), "Modularised eco-innovation in the auto industry", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 19, No. 2-3, pp. 212-220.
[19] Klug, F. (2011), "What we can learn from Toyota on how to tackle the bullwhip effect", in: *Logistics Research Network Conference Proceedings*, Waterson B. (Ed.), Southampton, pp. 1-10.
[20] Harrison, A. and van Hoek, R. (2011), *Logistics Management and Strategy*, 4th ed., FT Prentice Hall,Harlow.

[21] Liker, J.K. (2004), *The Toyota Way – 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, McGraw-Hill, New York.

[22] Doran, D. (2001), "Synchronous supply: an automotive case study", *European Business Review*, Vol. 13,No. 2, pp. 114-120.
[23] Holweg, M. (2005), "The three dimensions of responsiveness", *International Journal of Operations &Production Management*, Vol. 25, No. 7, pp. 603-622.
[24] Schonberger, R.J. (1986), *World Class Manufacturing – The Lessons of Simplicity Applied*, Free Press, New York.
[25] Wittek, K., Huth, C. and Spengler, T.S. (2012), "Integration von Hybrid- und Elektrofahrzeugen in dieProduktion", *Neue Mobilität*, No. 7, pp. 52-53.
[26] Ernst, Ch.-S., Hackbarth, A., Madlener, R., Lunz, B. and Sauer, D. (2011), "Battery sizing for serial plugin hybrid electric vehicles: A model-based economic analysis for Germany", *Energy Policy*, Vol. 39,No. 10, pp. 5871-5882.
to electric mobility", [27] Dombrowski, U., Engel, C. and Schulze, S. (2011), "Changes and challenges in the after sales service due Be *International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics*,