مقاله کاربردی

طراحی نقشه راه توسعه فناوری‌های کیفی بینایی ماشین در سالن‌های پرس و بدنه صنایع خودروسازی ایران

دریافت: ۹۸/۳/۲۱ پذیرش: ۹۹/۱/۶

حامد سلمان‌زاده[۱]
حبیب کراری[۲]
ناصر حبیبی‌فر[۳]، نویسنده مسئول
محمدرضا بختیاری[۴]

چکیده

هدف این مقاله تدوین نقشه راهی جهت به‌کارگیری فناوری‌های کیفی بینایی ماشین در سالن‌های پرس و بدنه صنایع خودروسازی است. جهت رسیدن به این هدف از مدل آزمایشگاه ملی سندیا استفاده و با به‌کارگیری این مدل، مهم‌ترین نیازهای کیفی سالن‌های پرس و بدنه شناسایی و با به‌کارگیری نظر متخصصین صنعتی و دانشگاهی و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فرایند (AHP)، مهم‌ترین معیارها جهت به‌کارگیری سیستم‌های بینایی ماشین تدوین و بهترین سیستم‌های ارائه شده در دنیا برای اهداف مورد نظر شناسایی و با استفاده از تکنیک تاپسیس (TOSIS) اولویت‌بندی شده است. در نهایت، با بررسی‌های انجام شده راهکارهای عملی که صنایع خودروسازی می‌توانند جهت به‌کارگیری سیستم‌های بینایی ماشین از آنها استفاده نمایند، مشخص شده است.

طبقه‌بندی JEL: O33, O32, L62

فناوری‌های بینایی ماشین / نقشه راه فناوری / مدل آزمایشگاه ملی سندیا / صنایع خودروسازی

---

۱. عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.
۲. بخش معاونت مهندسی، شرکت ایران خودرو، تهران، ایران.
۳. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران. n.habibifar@email.kntu.ac.ir
۴. بخش معاونت مهندسی، شرکت ایران‌خودرو، تهران، ایران.

۱. مقدمه: طرح مسأله

مطالعات و بررسی‌های مختلفی که در زمینه سیستم‌های بینایی ماشین در صنایع خودروسازی انجام شده است، همگی تأیید می‌نمایند که نه تنها خودروسازان مطرح دنیا، بلکه اکثر خودروسازان و صنایع وابسته به آنان در دنیا به سمت استفاده از راهکارهای بینایی ماشین در قسمت‌های مختلف خط تولید خود روی آورده‌اند و استفاده از راهکارهای بینایی ماشین در صنعت خودروسازی روز به روز در حال فراگیرتر شدن می‌باشد [۱]. لذا شرکت‌های خودروساز ایرانی بایستی سریع‌تر برای به‌کارگیری سیستم‌های بینایی ماشین در قسمت‌های مختلف خطوط تولید خود، برنامه‌ریزی و اقدام نمایند. زیرا به نظر می‌رسد که فناوری بینایی ماشین، یک فناوری مخرب (disruptive) باشد که در صورت عدم توجه به آن در زمان مناسب، مشکلات بسیاری را در آینده به دنبال خواهد داشت؛ مشکلاتی که به‌دلیل از دست رفتن زمان، به سادگی قابل جبران نخواهند بود.

بسیاری از سازمان‌ها و شرکت‌های بزرگ و کوچک در سراسر دنیا، در هنگام مواجهه با فناوری‌های مخرب، برای ایجاد یک مسیر روشن جهت اخذ تصمیمات بهتر، نقشه راه مورد نظر خود را توسعه می‌دهند [۲]. تدوین نقشه راه و متعاقبا تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری بهتر، باعث ایجاد مزیت رقابتی برای سازمان می‌گردد [۳]. در واقع با استفاده از یک نقشه راه مناسب و شفاف، یک شرکت یا سازمان قادر است تصمیمات سرمایه‌گذاری بهتری اتخاذ نماید. دلیل این امر آن است که نقشه راه اطلاعات مختلفی نظیر موارد زیر فراهم می‌آورد [۴]:

- شناسایی نیازهای اساسی محصولات، که می‌تواند منجر به تصمیماتی برای توسعه و انتخاب فناوری گردد.
- شناسایی فناوری‌هایی که می‌تواند نیازهای محصولات را برآورده نماید.
- انتخاب فناوری‌های مناسب.
- ایجاد و اجرای یک طرح جهت توسعه و به‌کارگیری فناوری مناسب.

تدوین نقشه راه جهت به‌کارگیری فناوری‌های بینایی ماشین در سالن‌های مختلف شرکت‌های خودروسازی، می‌تواند تسهیل‌کننده تصمیم‌گیری‌ها در این زمینه باشد. لذا در این پژوهش، با استفاده از مدل نقشه راه آزمایشگاه ملی سندیا [۴]، تلاش شده است که مواردی که شرکت‌های خودروساز ایرانی جهت دستیابی به این هدف بایستی در نظر داشته باشند مشخص شود و در نهایت راهکارهای مختلفی که پیش‌روی می‌باشد، شناسایی گردد.

نقشه‌راه تدوین شده به این منظور، به چند سؤال اساسی در زمینه به‌کارگیری سیستم‌های بینایی ماشین در سالن‌های پرس و بدنه پاسخ خواهد گفت. اول اینکه مهم‌ترین نیازهای کیفی سالن‌های پرس و بدنه صنایع خودروسازی که سیستم‌های بینایی ماشین برای آنها مناسب هستند، چه می‌باشد؟ دوم اینکه چه معیارهایی را می‌توان در به‌کارگیری سیستم‌های بینایی ماشین برای سالن‌های پرس و بدنه در نظر گرفت و مهم‌ترین آنها کدامند؟ سوم اینکه هر یک از معیارهای شناسایی شده را باید در کدام قسمت (دریافت تصاویر، پردازش تصاویر، نمایش خروجی‌ها و...) سیستم‌های بینایی ماشین بررسی نمود؟ چهارم اینکه با توجه به نیازهای سالن‌های پرس و بدنه، چه سیستم‌هایی توسط شرکت‌های بینایی ماشین برای آنها ارائه شده است؟ و پنجم اینکه با جمع‌بندی تمامی اطلاعات به‌دست آمده و شرایط کنونی صنایع خودروسازی، چه راهکارهایی جهت تجهیز سالن‌های پرس و بدنه به مناسب‌ترین سیستم‌های بینایی ماشین، پیشنهاد می‌گردد؟ هدف پژوهش پیش‌رو این است که با تدوین نقشه راه، بتواند برای این سؤالات پاسخ مناسبی ارائه نماید.

ساختار این مقاله به این صورت می‌باشد. در بخش دوم مدل نقشه راه آزمایشگاه ملی سندیا تشریح شده است. در بخش سوم، مدل تشریح شده در بخش دوم، برای به‌کارگیری

فناوری‌های بینایی ماشین در سالن‌های پرس و بدنه توسعه داده شده است. در بخش چهارم مقاله، نتایج حاصل از توسعه نقشه راه برای سالن‌های پرس و بدنه و راهکارهای پیش‌رو تشریح گردیده است و در نهایت بخش پنجم به جمع‌بندی مقاله تخصیص یافته است.

۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق

اگرچه به نظر می‌رسد که مطالعات بسیاری در زمینه تدوین نقشه راه در صنایع مختلف و با اهداف مختلف انجام شده است، اما بسیاری از آنها به‌صورت یک گزارش در سازمان آرشیو شده و هیچ‌گاه منتشر نشده است؛ برخی از معدود مطالعاتی که به مرحله انتشار به‌صورت مقاله یا گزارش رسیده‌اند عبارتند از: سرواری و همکاران (۲۰۱۸)، استوکس و گریندلی (۲۰۱۵)، لیو و همکاران (۲۰۱۶) و لنگورسی و همکاران (۲۰۱۷). با این حال، مرور پژوهش‌ها و گزارشات منتشر شده نشان می‌دهد که این مقاله اولین پژوهشی می‌باشد که به تدوین نقشه راه برای توسعه فناوری‌های بینایی ماشین در صنایع خودروسازی پرداخته است.

جهت تدوین نقشه راه فناوری، مدل‌های مختلفی تدوین شده است که مدل‌های کمبریج [۵]، برنامه‌ریزی تحقیق و توسعه [۶]، بسته توسعه فناوری [۷] و آزمایشگاه ملی سندیا [۴] برخی از آن‌ها هستند. با بررسی ویژگی‌های مدل‌های مختلف تدوین نقشه راه، به نظر می‌رسد مدل آزمایشگاه ملی سندیا، مدل کامل‌تر و مناسب‌تری باشد و در ادبیات موضوع نیز از این مدل به‌عنوان مدل پیشگام در تدوین نقشه راه فناوری نام برده شده است [۸]. در نتیجه با توجه به هدف پژوهش و بررسی انجام شده میان مدل‌های مذکور، مدل آزمایشگاه ملی سندیا جهت تدوین نقشه راه مورد نظر انتخاب گردید.

کلیات مدل تدوین نقشه راه آزمایشگاه ملی سندیا در نمودار (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌گردد این مدل سه فاز اصلی دارد که در ادامه تشریح شده است. لازم به ذکر است که هدف پژوهش پیش‌رو تنها محدود به فاز دوم این مدل می‌باشد. مسلما بهترین منبع جهت شناخت این مدل و گام‌های آن مدل مرجع و پایه آن [۴] می‌باشد که مطالب این بخش مربوط به آن منبع می‌باشد.

نمودار ۱- گام‌های مدل تدوین نقشه راه آزمایشگاه ملی سندیا

فاز ۱: فعالیت‌های مقدماتی

در این فاز، تصمیم‌گیرندگان بایستی به این نتیجه برسند که آن‌ها مسأله/ مشکلی دارند که تدوین نقشه راه می‌تواند گره‌گشای آن باشد. برای اینکه تلاش‌های انجام‌شده در نقشه راه به موفقیت ختم گردد، لازم است تا شرایطی برقرار باشد. مهم‌ترین شرایط لازم، احساس نیاز به نقشه راه فناوری در سازمان و مشارکت فعالانه ذینفعان و مدیریت می‌باشد. همچنین به‌دلیل تلاش‌ها و زمانی که برای نقشه راه صرف می‌گردد، بایستی یک مسئول برای آن تعیین نمود. این مسئول باید از گروهی باشد که مسئولیت اجرایی نقشه راه برعهده آنست و از منافع آن بهره‌مند می‌گردد. در نهایت در گام آخر این فاز، محتوای نقشه راه بایستی مشخص شود. این امر این اطمینان را حاصل می‌کند که یک چشم‌انداز مشخص و روشن وجود دارد که نقشه راه می‌تواند آن را پشتیبانی نماید.

فاز ۲: تدوین نقشه راه

این فاز شامل هفت گام می‌باشد که گروه‌های کاری و تیم‌ها بایستی در توسعه محتوای نقشه راه همکاری نمایند.

در گام اول، بایستی محصول(های) نهایی که نقشه راه بایستی بر آن(ها) متمرکز شود مشخص شود. بسته به پیچیدگی محصول، اجزا و سطوح متعددی در نقشه راه وجود دارد که بایستی مناسب‌ترین آن‌ها را انتخاب و بر آن تمرکز نمود. اگر ابهامات زیادی درباره نیازهای محصول وجود داشته باشد، استفاده از یک برنامه سناریومحور می‌تواند کمک‌کننده باشد که هر سناریو بایستی منطقی، دارای نظم درونی و قابل مقایسه با دیگر سناریوها باشد.

در گام دوم، لازم است نیازهای حیاتی سیستم مورد نظر مشخص شوند. نیازهای حیاتی سیستم چارچوب اصلی برای نقشه راه را فراهم می‌نماید. هنگامی‌که اعضای گروه درباره نیازی که بایستی نقشه راه برای آن تدوین گردد، تصمیم‌گیری نمودند، آن‌ها بایستی نیازهای حیاتی سیستم را شناسایی کنند. این نیازها در واقع معیارهایی می‌باشند که فناوری منتخب بایستی آنها را داشته باشد. بنابراین این معیارها مختص همان سازمان است و با توجه به هدف مسأله تعیین می‌شوند.

گام سوم، مربوط به تعیین زمینه‌های اصلی فناوری می‌باشد. این زمینه‌های اصلی فناوری هستند که می‌توانند در دستیابی به نیازهای اصلی برای محصول کمک‌کننده باشند. در واقع بایستی در این گام تعیین نماییم که فناوری مورد نظر را از چه زمینه‌هایی می‌توان ارزیابی نمود.

در گام چهارم، محرک‌های فناوری تعیین می‌شوند. نیازمندی‌های اساسی سیستم جهت تعیین زمینه‌های اصلی فناوری به محرک‌های فناوری‌محور تبدیل می‌گردد. این محرک‌های فناوری تعیین خواهد کرد که کدام‌یک از گزینه‌ها انتخاب شود. محرک‌های فناوری وابسته به زمینه‌های فناوری که بایستی لحاظ شود، می‌باشد، اما به اینکه چگونه فناوری به نیازمندی‌های اساسی سیستم پاسخ خواهد گفت، مرتبط است.

شناخت فناوری‌های موجود در گام پنجم انجام می‌شود. هنگامی‌که محرک‌های فناوری مشخص شد، گزینه‌هایی که می‌توانند اهداف شناسایی شده را برآورده نمایند، بایستی مشخص شوند. ممکن است لازم باشد اهداف پیچیده توسط چندین گزینه در کنار هم برآورده شوند و یا اینکه یک گزینه چندین هدف را برآورده نماید.

در گام ششم، فناوری(های) برتر مشخص می‌گردند. در این گام مجموعه‌ای از گزینه‌هایی که بایستی مورد بررسی دقیق‌تر قرار بگیرد، انتخاب می‌گردد. این گزینه‌ها در هزینه، زمان‌بندی و یا عملکرد متفاوت هستند که بسته به نظر متخصصین اهمیت هریک تعیین می‌شود.

در نهایت در گام هفتم، نقشه راه فناوری تدوین خواهد شد. تا این گام، نقشه‌راه توسعه داده شده است و در قالب یک گزارش نقشه‌راه می‌تواند مستند گردد. این گام در واقع تجمیع کارهایی می‌باشد که در شش گام قبل انجام شده است.

فاز ۳: فعالیت‌های تکمیلی

به جهت آنکه نقشه‌راه توسط افراد کمی تدوین شده و نگارش یافته است، اکنون لازم است نقد شود، اعتبارسنجی گردد و به‌وسیله گروه بیشتری از افرادی که در زمینه اجرایی نقش دارند، پذیرفته شود. یک طرح اجرایی نیازمند آن است که با استفاده از اطلاعات گردآوری شده از طریق فرایند نقشه‌راه توسعه داده شود تا بتوان تصمیمات سرمایه‌گذاری مناسبی اتخاذ و اجرا نمود. در نهایت، به‌دلیل آنکه فناوری‌ها و نیازها در حال تغییر و تکامل هستند، نقشه‌راه بایستی به‌صورت دوره‌ای مورد بازبینی قرار گیرد و به‌روزرسانی شود.

۳. روش تحقیق

همان‌طور که بیان شد، هدف این پژوهش محدود به فاز دوم نقشه راه تشریح شده، می‌باشد. لذا پیش از به‌کارگیری عملی این نقشه‌راه، بایستی مسئول اصلی نقشه راه مشخص شود. البته لازم به ذکر است که محدوده نقشه‌راه، به مسائل کیفی سالن‌های پرس و بدنه محدود شده است. همچنین فرایند تدوین نقشه راه این پژوهش با مشارکت اعضای تیم دانشگاهی و تیمی از متخصصین شرکت ایران‌خودرو انجام گردیده است.

جهت شناسایی محصول نهایی نقشه راه، با توجه به اینکه هدف پروژه سالن‌های پرس و بدنه بوده است، کلیه فرایندهای سالن‌های پرس و بدنه بررسی شده است. بررسی‌های انجام شده در نهایت منتج به این شد که خروجی نهایی نقشه راه ارائه سیستم‌های بینایی ماشین متناسب با موارد زیر می‌باشد. در واقع موارد مطرح شده، اکثر نیازهای کیفی موجود در سالن‌های پرس و بدنه که سیستم‌های بینایی ماشین قادر به تأمین آنها هستند را شامل می‌شود.

- بررسی ژئومتریک و سه‌بعدی قطعات
- بررسی کیفیت سطوح
- بررسی کیفیت نقطه جوش‌ها
- بررسی سیلرهای سقف و درب‌ها
- بررسی ضخامت ورق
- بررسی و اندازه‌گیری گپ و فلش

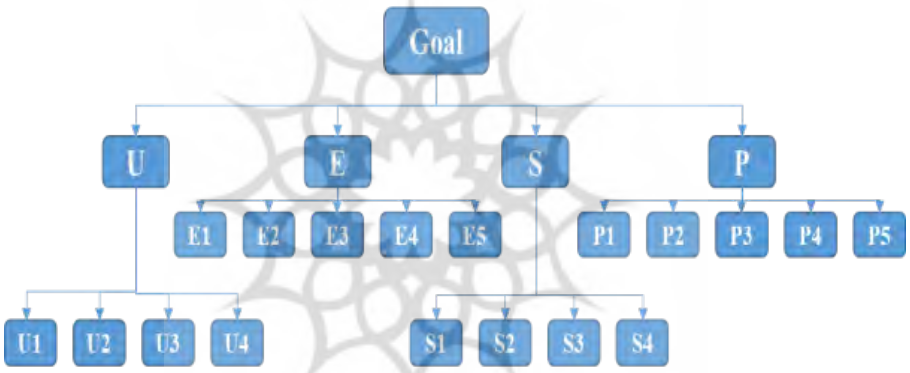
در مرحله بعد بایستی نیازهای حیاتی سیستم‌ها تعیین گردد. از آنجایی‌که سیستم‌های موردنظر در سالن‌های پرس و بدنه به‌کار گرفته خواهند شد، جهت تعیین نیازهای حیاتی از نظر متخصصین این سالن‌ها در شرکت ایران‌خودرو استفاده گردیده است. این متخصصین شامل مدیران و سرپرستان سالن‌های پرس و بدنه شرکت ایران‌خودرو بودند که به کلیه فرایندها و چالش‌هایی که سیستم‌های بینایی ماشین توانایی قادر به ارائه راهکاری برای آنها هستند، تسلط نسبی داشتند. همچنین با توجه به آشنایی تیم دانشگاهی بر فرایندهای موجود در این سالن‌ها و نگاه متفاوت آنها نسبت به تیم صنعتی، نظرات تیم دانشگاهی نیز لحاظ شده است. این تیم شامل چندین تن از دانشجویان دکتری و اعضای هیأت علمی دانشگاه‌ها بود که مطالعات و تجارب خوبی در زمینه سیستم‌های بینایی ماشین و توانمندی‌های این سیستم‌ها داشتند.

با توجه به اینکه ماهیت کار در سالن‌های پرس و بدنه متفاوت می‌باشد، نیازهای حیاتی سیستم برای سالن‌های مذکور تفکیک شده است. برای این کار با بررسی ماهیت کارکرد سیستم‌های بینایی ماشین در صنایع خودروسازی و همچنین با مشورت با متخصصین، ۱۸ معیاری که می‌تواند به‌عنوان نیازهای حیاتی سیستم بینایی ماشین لحاظ شوند، شناسایی شدند. این معیارها که در چهار دسته اقتصادی، کاربردی، عملکردی و پشتیبانی قرار می‌گیرند، در جدول (۱) آمده‌اند.

نیازهای حیاتی سیستم از میان معیارهای تشریح شده در جدول (۱) با بهره‌گیری از قضاوت متخصصین انتخاب شده است. به این منظور از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی فرایند استفاده گردیده و هم نظر متخصصین سالن‌های پرس و بدنه و هم نظر متخصصین دانشگاهی لحاظ شده است. نمودار این تکنیک برای مسأله مورد بررسی در نمودار (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱- معیارهای شناسایی شده برای ارزیابی سیستم‌های بینایی ماشین

نام معیار		کد	نام معیار		کد
اقتصادی	هزینه‌های خرید و راه‌اندازی	E1	عملکردی	سرعت	P1
	هزینه‌های عملیاتی	E2		دقت	P2
	هزینه‌های نگهداری و تعمیرات	E3		قابلیت اطمینانی	P3
	هزینه‌های پشتیبانی	E4		ایمنی	P4
	ابعاد و فضای لازم	E5		عدم وابستگی به شرایط محیطی	P5
کاربردی	سهولت استفاده	U1	پشتیبانی	پشتیبانی فنی	S1
	سهولت کنترل	U2		قابلیت توسعه	S2
	سهولت کالیبراسیون	U3		انعطاف‌پذیری	S3
	سهولت نگهداری و تعمیرات	U4		قابلیت‌های نرم‌افزاری	S4



نمودار ۲- نمودار مربوط به تکنیک سلسله مراتبی برای مسأله مورد نظر

این تکنیک چهار بار تکرار شده است؛ یک بار برای قضاوت‌های انجام شده توسط متخصصین ایران‌خودرو برای سالن‌های پرس، یک بار برای قضاوت‌های انجام شده توسط متخصصین ایران‌خودرو برای سالن‌های بدنه و دو بار دیگر همین کار برای قضاوت‌های متخصصین دانشگاهی. در ادامه پنج معیار اول نظرات متخصصین ایران‌خودرو و پنج معیار اول نظرات متخصصین دانشگاهی به‌عنوان نیازهای حیاتی سیستم در سالن‌های پرس و بدنه انتخاب شدند (جمعا ده معیار برای هر سالن). نتایج اجرای این تکنیک در جدول (۲) نشان داده شده است؛ البته به جهت اینکه برخی معیارها هم در نظرات متخصصین ایران‌خودرو جزء پنج معیار برتر بود و هم در نظرات متخصصین دانشگاهی، در نهایت با حذف این موارد تکراری و ادغام نظرات، نتیجه نهایی در جدول (۳) آمده است.

در مورد زمینه‌های اصلی فناوری که ما را در رسیدن به معیارهای منتخب کمک می‌نمایند، در سیستم‌های بینایی ماشین، زمینه‌های نحوه دریافت تصاویر، شرایط نوری، نحوه پردازش تصویر و نحوه نمایش / استفاده از نتایج مهم می‌باشد. لذا با توجه به نیازهای حیاتی مشخص شده در سالن‌های پرس و بدنه، در سیاست‌گذاری در مورد هر

یک از زمینه‌های اصلی فناوری بایستی اثر آن بر عملکرد نهایی سیستم در مورد این معیارها به دقت بررسی گردد.

جدول ۲- نیازهای حیاتی سیستم‌ها در سالن‌های پرس و بدنه به تفکیک نظرات متخصصین ایران‌خودرو و دانشگاه

سالن	متخصصین دانشگاهی		متخصصین ایران‌خودرو	
	رتبه	معیار	رتبه	معیار
پرس	۱	P4	۱	E1
	۲	P2	۲	E3
	۳	S1	۳	E2
	۴	P3	۴	E4
	۵	E1	۵	P4
بدنه	۱	P4	۱	E3
	۲	P2	۲	P4
	۳	S1	۳	U1
	۴	P3	۴	E4
	۵	E1	۵	U4

جدول ۳- جمع‌بندی نیازهای حیاتی سیستم‌ها در سالن‌های پرس و بدنه

رتبه	معیارها	
	پرس	بدنه
۱	ایمنی (P4)	ایمنی (P4)
۲	دقت (P2)	هزینه‌های نت (E3)
۳	هزینه‌های خرید (E1)	دقت (P2)
۴	هزینه‌های نت (E3)	پشتیبانی فنی (S1)
۵	پشتیبانی فنی (S1)	سهولت استفاده (U1)
۶	هزینه‌های عملیاتی (E2)	قابلیت اطمینانی (P3)
۷	قابلیت اطمینانی (P3)	هزینه‌های پشتیبانی (E4)
۸		هزینه‌های خرید (E1)
۹		سهولت نت (U4)

پس از تعیین نیازهای حیاتی سیستم‌های مورد نظر و زمینه‌های اصلی فناوری بینایی ماشین، بایستی محرک‌های فناوری تعیین شوند. با توجه به این موارد، در زمینه دریافت تصاویر، به‌دلیل اینکه میزان زیادی از هزینه‌های خرید و راه‌اندازی، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات و هزینه‌های عملیاتی وابسته به دوربین‌ها، سنسورها و لنزهای استفاده شده می‌باشد، بایستی تجهیزاتی به‌کار گرفته شود که مطابق انتظارات و بودجه‌های تعریف شده باشد. در زمینه شرایط نوری علاوه بر مواردی که در زمینه دریافت تصاویر اشاره گردید، بایستی مباحث ایمنی نیز به دقت بررسی شود. در زمینه پردازش تصویر که حساس‌ترین و مهم‌ترین قسمت یک سیستم بینایی ماشین می‌باشد، علاوه بر در نظر داشتن معیارهای هزینه‌ای برای انتخاب سخت‌افزار پردازش، دریافت‌کننده تصاویر و پکیج نرم‌افزاری بایستی توجه زیادی به دقت آنها شود. در زمینه استفاده و نمایش نتایج بایستی به پکیج نرم‌افزاری توجه نمود. در نهایت در تمامی زمینه‌های تشریح شده، به‌کارگیری یک تیم متخصص که دارای دانش و مهارت مناسبی باشند، بسیار مهم می‌باشد. بنابراین دوربین‌ها، سنسورها، لنزها، سخت‌افزار پردازش، دریافت‌کننده تصاویر، سیستم نورپردازی، پکیج نرم‌افزاری و تیم متخصص محرک‌های فناوری در نقشه راه می‌باشند.

گام بعدی در نقشه راه شناسایی گزینه‌های موجود برای تأمین اهداف مورد نظر می‌باشد. لذا با بررسی سیستم‌های ارائه شده توسط شرکت‌های داخلی و خارجی، سیستم‌های مناسب که بتوانند نیازهای حیاتی را تأمین کنند و مناسب محصولات شناسایی شده در گام شناسایی محصول نهایی باشند، مشخص شده‌اند. شایان ذکر است که اگرچه تیم پروژه علاقه‌مند به به‌کارگیری سیستم‌های بومی ساخت شرکت‌های داخلی بود، اما متأسفانه شرکت‌های داخلی سیستم مناسبی که بتواند اهداف مورد نظر را تأمین نماید، تاکنون ارائه ننموده‌اند و عمده فعالیت آنها در زمینه ارائه سیستم‌های صنعتی به‌صورت پروژه‌ای و با استفاده از

سخت‌افزارهای خارجی می‌باشد. سیستم‌های شناسایی شده به همراه برخی از ویژگی‌های آنها در پیوست (۱) ارائه شده است.

در نهایت پس از شناسایی سیستم‌ها، بایستی بهترین گزینه جهت به‌کارگیری برای هدف مورد نظر، تعیین شود. به این منظور از روش تاپسیس برای ارزیابی سیستم‌های شناسایی شده در هر کاربرد استفاده شده است. جهت اولویت‌بندی این سیستم‌ها معیارهای سرعت، دقت، تطابق با Industry 4، به‌روز بودن تکنولوژی، جدید بودن سیستم، ارایه خروجی CAD، مقاومت در برابر شرایط محیطی و ویژگی‌های عملکردی لحاظ شده است و نتایج رتبه‌بندی در جداول پیوست (۱) آمده است.

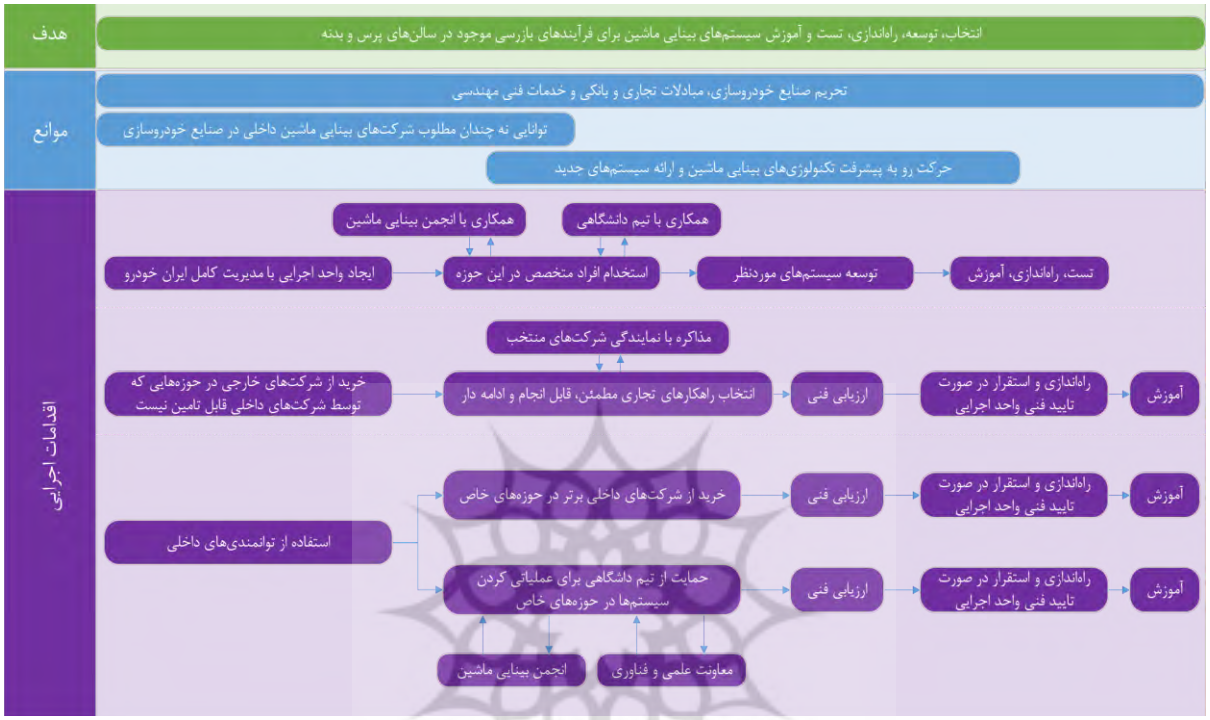
۴. یافته‌ها و نتایج

با توجه به مطالعات انجام شده جهت تدوین نقشه راه فناوری به‌کارگیری سیستم‌های بینایی ماشین در صنایع خودروسازی، در وضعیت فعلی سه راهکار می‌توان برای این هدف متصور شد. یک راهکار استفاده از توان داخلی می‌باشد؛ در این زمینه می‌توان به شرکت‌های دانش‌بنیان و تیم‌های دانشگاهی توجه نمود. اما با توجه به اینکه توان تیم‌های دانشگاهی و شرکت‌های دانش‌بنیان قابلیت پاسخگویی به تمام نیازهای شناسایی شده را ندارد، بایستی کار با آنها را از سیستم‌های ساده‌تر آغاز نمود. راهکار دیگر خرید از شرکت‌های خارجی در حوزه‌هایی که توان داخلی قابلیت پاسخگویی به آنها را ندارد می‌باشد. البته دو مانع اساسی در این زمینه وجود دارد؛ وجود تحریم‌های صنایع خودروسازی، مبادلات مالی و خدمات فنی‌مهندسی و هزینه‌های بالای سیستم‌های شرکت‌های خارجی با توجه به افزایش شدید نرخ ارز در ماه‌های اخیر.

مطالعات انجام شده در برخی از تازه‌ترین پتنت‌های ارایه شده توسط شرکت‌های مطرح (استاسی و همکاران، ۲۰۱۶؛ لیلینبلوم و ولفارم، ۲۰۱۶؛ لکسون و ارکلبن، ۲۰۱۷؛ هرمان و کلائوس، ۲۰۱۷؛ ژئومرسیک و همکاران، ۲۰۱۶، ژئومرسیک و همکاران، ۲۰۱۶؛ جناس، ۲۰۱۷؛ بلوبام، ۲۰۱۷؛ برزانک، ۲۰۱۷؛ مرتینگ و همکاران، ۲۰۱۷) و همچنین بررسی‌های انجام شده در کاتالوگ‌ها، وب‌سایت‌ها و گزارشات انجمن‌های بینایی ماشین نشان دادند که عمده تمرکز شرکت‌های پیشرو بر توسعه قابلیت‌های نرم‌افزاری قرار داده شده است و حتی برخی از شرکت‌های فعال در زمینه بینایی ماشین، تنها به ارایه راهکارهای نرم‌افزاری برای اهداف مختلف می‌پردازند. بنابراین روند توسعه‌های سیستم‌های بینایی ماشین، روی آوردن شرکت‌های مختلف به توسعه‌های نرم‌افزاری را نشان می‌دهد؛ کاری که خود شرکت‌های خودروسازی ایران نیز می‌توانند با سرمایه‌گذاری در آن، نیازهای خود را مرتفع کنند. لذا راهکار دیگری که می‌توان جهت تأمین سیستم‌های بینایی ماشین در نظر گرفت، ایجاد یک واحد اجرایی با عنوان توسعه و پیاده‌سازی سیستم‌های بینایی ماشین در شرکت‌های خودروسازی می‌باشد. اگرچه این راهکار مسیری طولانی‌مدت بوده و نیازمند صرف هزینه‌های زیاد می‌باشد، اما در صورت موفقیت می‌تواند علاوه بر جبران سریع هزینه‌های انجام شده، یک راهکار مطمئن و پایدار باشد و به‌علاوه در توسعه سیستم‌های بینایی ماشین برای دیگر سالن‌ها (رنگ، موتور و مونتاژ) و در دیگر کاربردها (هدایت سه‌بعدی ربات‌ها، کنترل فرایند و ...) قابل استفاده باشد. در ادامه برخی از مهم‌ترین وظایف پیشنهادی این واحد آمده است.

- ایجاد آزمایشگاه بینایی ماشین جهت تست سیستم‌های توسعه داده شده.
- نیازسنجی و اولویت‌بندی سیستم‌های بینایی ماشین در سالن‌ها و ایستگاه‌های کاری.
- تهیه لیست تجهیزات لازم برای سیستم‌های بینایی ماشین جهت خرید.
- توسعه، تست و پیاده‌سازی راهکارهای بینایی ماشین در سالن‌های مختلف.

- آموزش پرسنل و اپراتورهای درگیر با سیستم‌های پیاده‌سازی شده.
- بررسی مداوم سیستم‌های نصب شده جهت اطمینان از کارکرد صحیح آنها.
- برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و دوره‌ای
- تعامل با شرکت‌های خارجی جهت انتقال دانش.
- ثبت پتنت سیستم‌های توسعه داده شده برای شرکت.

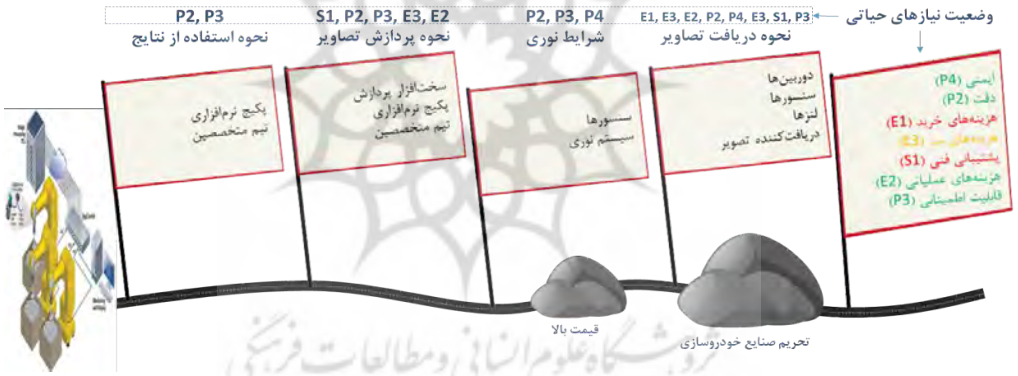


نمودار ۳- کلیت نقشه راه و راهکارهای اجرایی

در مجموع با توجه به راهکارهای عنوان شده، می‌توان کلیت نقشه راه را به‌صورت نمودار (۳) نشان داد. این نمودار شامل سه قسمت است. در قسمت هدف، هدف اصلی از تدوین نقشه راه آمده است. در قسمت موانع، اصلی‌ترین موانعی که در این مسیر وجود دارد، ذکر شده است. همان‌طور که در این قسمت مشاهده می‌شود، تحریم صنایع خودروسازی، توانایی نه چندان مطلوب شرکت‌های داخلی در زمینه خودروسازی دو مانع مهم می‌باشند. همچنین حرکت رو به پیشرفت تکنولوژی‌های بینایی ماشین را نیز می‌توان به‌عنوان یک مانع در این زمینه قلمداد نمود که برنامه‌ریزی‌های شرکت را دچار مشکل می‌کند و شرکت بایستی در هنگام تصمیم‌گیری نهایی، وضعیت فناوری‌های موجود و شناخت فناوری برتر که پیش‌تر بیان شد را به‌روز رسانی نماید. درقسمت بعدی، اقدامات اجرایی نشان داده شده است. در این قسمت، راهکارهای مطرح شده و اقداماتی که بایستی هرشرکت برای هرکدام در پیش بگیرد، آمده است. هنگام تصمیم‌گیری نهایی، وضعیت فناوری‌های موجود و شناخت فناوری برتر که پیش‌تر بیان شد را به‌روز رسانی نماید. در قسمت بعدی نمودار (۳)، اقدامات اجرایی نشان داده شده است. در این قسمت، راهکارهای مطرح شده و اقداماتی که بایستی هر شرکت برای هرکدام در پیش بگیرد، آمده است.

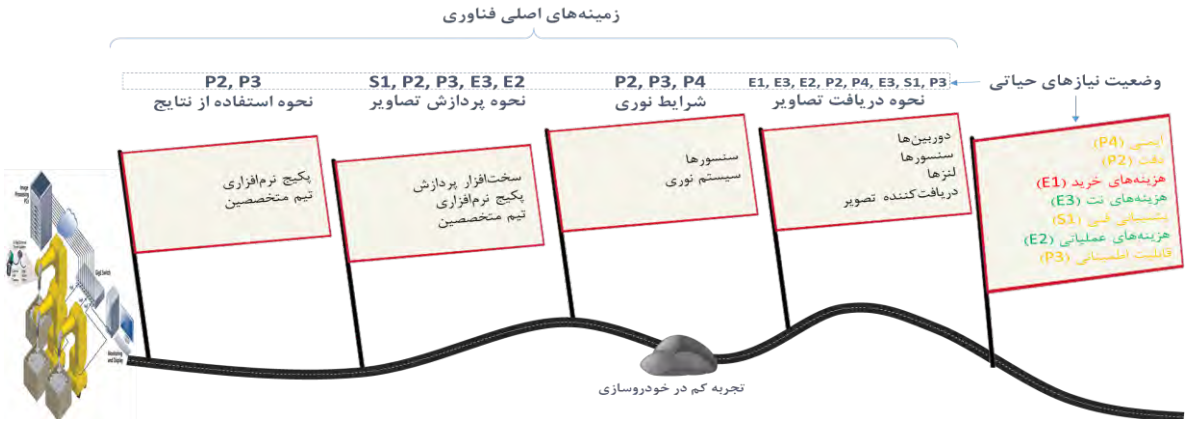
۵. نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی

با توجه به مطالبی که از گام‌های مختلف تدوین نقشه راه فناوری حاصل شد و همچنین راهکارهای شناسایی شده مذکور، اکنون می‌توان یک نقشه راه با جزئیات کامل ایجاد نمود. با توجه به اینکه نیازهای حیاتی سیستم‌ها به تفکیک سالن‌های پرس و بدنه ارائه شدند، نقشه راه برای هریک از این سالن‌ها برای شرکت‌های خارجی، شرکت‌های دانش‌بنیان و تیم‌های دانشگاهی در نمودارهای (۴) تا (۹) ارائه شده است. این نمودارها مطابق با نیازهای حیاتی سیستم‌ها، زمینه‌های اصلی فناوری و محرک‌های فناوری شناسایی شده در نقشه راه می‌باشند. هر یک از زمینه‌های اصلی فناوری شامل چندین محرک فناوری می‌باشد که در نقشه راه مشخص شده است. به‌علاوه لازم است نیازهای حیاتی سیستم به هر یک از زمینه‌های اصلی فناوری مرتبط گردد که در قسمت بالای هر زمینه فناوری، نیازهای حیاتی که بایستی در آن زمینه بررسی شوند، آمده است. از سویی دیگر، وضعیت توانمندی شرکت‌های خارجی، شرکت‌های دانش‌بنیان و تیم‌های دانشگاهی در هر کدام از نیازهای حیاتی در سالن‌های پرس و بدنه متفاوت می‌باشد که برای تعیین این توانمندی، از رنگ‌های سبز، زرد و قرمز به‌ترتیب برای وضعیت مطلوب، وضعیت نیمه‌مطلوب و وضعیت نامطلوب در نمودارهای نقشه راه استفاده شده است. برای مثال در نمودار (۴) که مربوط به نقشه راه تأمین سیستم‌های سالن‌های پرس از طریق شرکت‌های خارجی می‌باشد، توانمندی سیستم‌های این شرکت‌ها از نظر ایمنی، دقت، هزینه‌های عملیاتی و قابلیت اطمینانی در شرایط مطلوبی قرار دارد، از نظر هزینه‌های نت در وضعیت نیمه مطلوبی قرار دارد و از نظر هزینه‌های خرید و پشتیبانی فنی در وضعیت نامطلوبی قرار دارد.

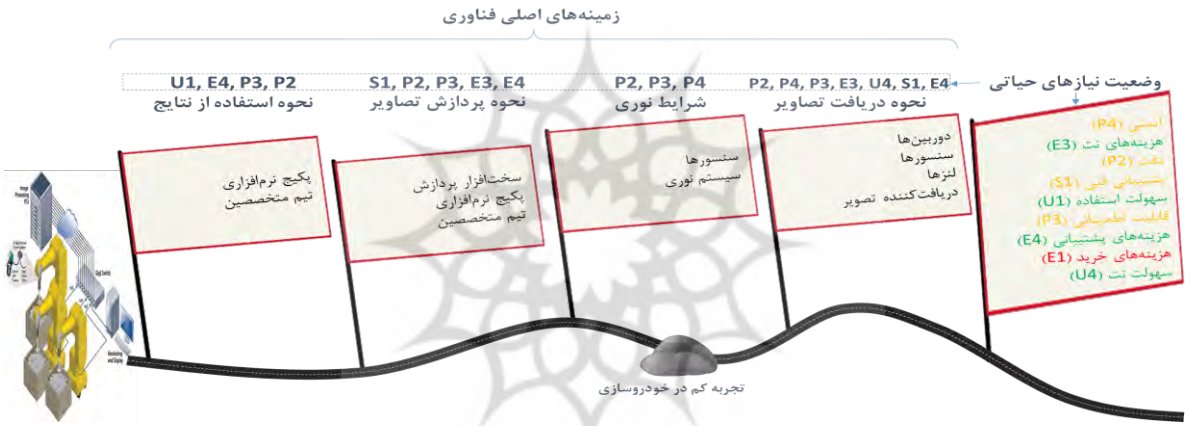


نمودار ۴- نقشه راه گرافیکی خرید از شرکت‌های خارجی- سالن‌های پرس

نمودار ۵- نقشه راه گرافیکی خرید از شرکت‌های خارجی- سالن‌های بدنه

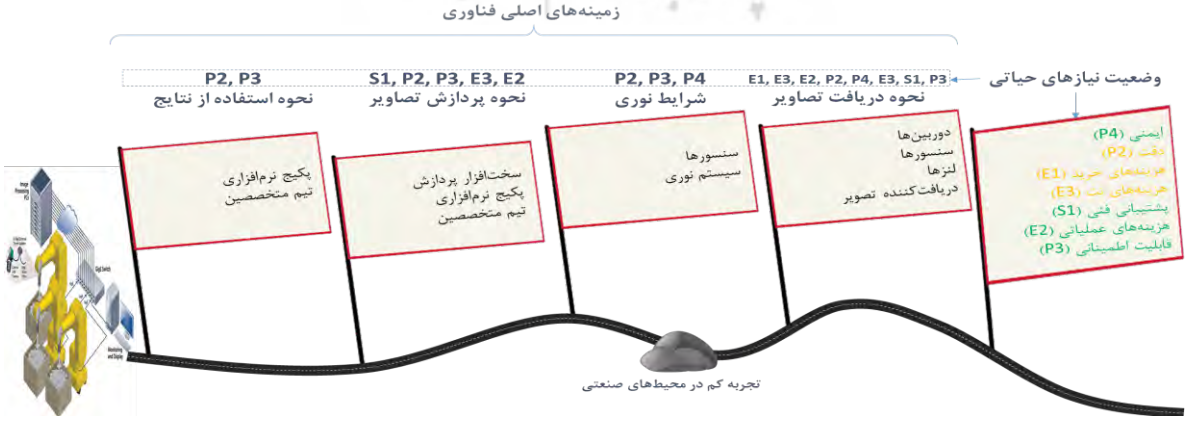


نمودار ۶- نقشه راه گرافیکی همکاری با شرکت‌های دانش‌بنیان- سالن‌های پرس

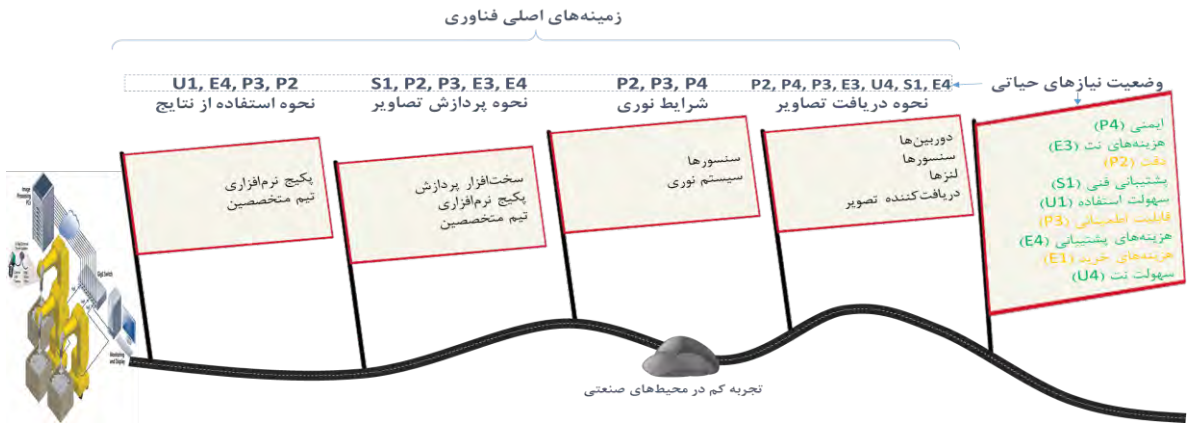


نمودار ۷- نقشه راه گرافیکی همکاری با شرکت‌های دانش‌بنیان- سالن‌های بدنه

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



نمودار ۸- نقشه راه گرافیکی همکاری با تیم‌های دانشگاهی- سالن‌های پرس



نمودار ۹- نقشه راه گرافیکی همکاری با تیم‌های دانشگاهی- سالن‌های بدنه

با توجه به جزییاتی که در نقشه‌های راه گرافیکی وجود دارد، شرکت‌های خودروسازی می‌توانند در مسیر به‌کارگیری سیستم‌های بینایی ماشین برای سالن‌های پرس و بدنه، با شناخت راهکارهای موجود، موانع هر مسیر و وضعیت معیارهای لازم در هر راهکار، تصمیمات سرمایه‌گذاری بهتری داشته باشد. این کار باعث می‌گردد از سرمایه‌گذاری‌های نابه‌جا و بدون پشتوانه علمی جلوگیری گردد و مانع از این می‌شود که تجربیات ناموفق گذشته در زمینه‌های مختلف در شرکت‌های خودروسازی ایران، تکرار گردد.

در مجموع با توجه به کلیه مباحث مطرح شده، پیشنهاد می‌گردد که شرکت‌های خودروسازی سه مسیر را به‌صورت موازی پیش ببرند. به‌عبارتی ابتدا تلاش نمایند تعدادی از سیستم‌های حساس (سیستم‌های بازرسی جوش) و با اولویت بالا (سیستم‌های اندازه‌گیری سه‌بعدی و بررسی فرایند سیلرزنی) را از شرکت‌های خارجی تهیه نمایند. به‌طور همزمان از دانش شرکت‌های داخلی و تیم‌های دانشگاهی جهت توسعه سیستم‌ها در فرایندهای ساده‌تر (اندازه‌گیری ضخامت ورق، بررسی کیفیت سطوح و اندازه‌گیری گپ و فلش) استفاده نمایند و همچنین مقدمات لازم را جهت ایجاد واحد اجرایی توسعه و پیاده‌سازی سیستم‌های بینایی ماشین انجام دهند تا این واحد سریع‌تر کار خود را آغاز نماید.

امروزه حرکت رو به پیشرفت به‌کارگیری فناوری‌های بینایی ماشین در صنایع خودروسازی به‌شدت احساس می‌گردد. لذا شرکت‌های خودروسازی ایرانی، بایستی شرایط لازم برای به‌کارگیری این سیستم‌ها در خطوط تولید خود را فراهم نماید. تدوین نقشه راه در این زمینه می‌تواند به مدیران ارشد این شرکت‌ها کمک نماید تا تصمیمات سرمایه‌گذاری بهتری اتخاذ نمایند. در این پژوهش نقشه راه به‌کارگیری فناوری‌های کیفی بینایی ماشین در سالن‌های پرس و بدنه مورد توجه قرار گرفت. جهت تدوین نقشه راه از مدل آزمایشگاه ملی سندیا استفاده شد و گام‌های مختلف آن با توجه به شرایط سالن‌های پرس و بدنه صنایع خودروسازی توسعه داده شد.

در زمینه به‌کارگیری فناوری‌های بینایی ماشین در سالن‌های پرس و بدنه، شرکت‌های خودروسازی چند راهکار اصلی پیش روی خود دارند؛ خرید از شرکت‌های خارجی، استفاده از توان داخلی و ایجاد واحد اجرایی. شاید بتوان گفت که سریع‌ترین راه، استفاده از سیستم‌های شرکت‌های خارجی می‌باشد اما در این راه، موانعی بزرگ همچون قیمت بالای سیستم‌ها (به‌ویژه با افزایش نرخ ارز) و تحریم صنایع خودروسازی، وجود دارد که عملا حرکت در این مسیر را بسیار مشکل نموده است. البته اگرچه شاید

بتوان با دور زدن تحریم‌ها، سیستم‌های لازم را تهیه نمود ولی در زمینه پشتیبانی و خدمات پس از فروش مشکلات اصلی خود را نشان خواهند داد.

راهکار دیگر همکاری با شرکت‌های داخلی می‌باشد. در این مسیر نیز تجربه کم شرکت‌های داخلی در صنایع خودروسازی، مانعی کوچک در مسیر ایجاد نموده است. همچنین پیچ و خم این مسیر نسبت به مسیر شرکت‌های خارجی، بیشتر می‌باشد. اما می‌توان با حمایت و همکاری با شرکت‌های داخلی، این فرصت را در اختیار آنان قرار داد که تلاش خود را جهت بومی‌سازی سیستم‌های بینایی ماشین مرتبط با خودروسازی انجام دهند و شرکت‌های خودروسازی نیز از دانش آنها استفاده نمایند.

راهکار دیگری که می‌توان در به‌کارگیری سیستم‌های بینایی ماشین به آن توجه نمود، همکاری با تیم‌های دانشگاهی می‌باشد. همانند مسیر شرکت‌های داخلی، در این مسیر نیز مانع تجربه کم تیم دانشگاهی در محیط‌های صنعتی وجود دارد که این مانع بیانگر لزوم صرف زمان و فراهم آوردن حمایت‌های جدی جهت به ثمر رسیدن تلاش‌ها در این زمینه است. مزیت اصلی همکاری با تیم‌های دانشگاهی نسبت به همکاری با شرکت‌های دانش‌بنیان داخلی، ریسک کمتر می‌باشد. انعقاد قرارداد با دانشگاه و نه شخص حقیقی، دانش نسبتا بالاتر اعضای تیم‌های دانشگاهی و امکان تعریف پروژه‌ها در قالب پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد و دکتری، از جمله دلایلی هستند که موجب می‌شود ریسک همکاری با تیم‌های دانشگاهی کمتر باشد. اما از طرف دیگر، تیم‌های دانشگاهی حضور کمی در محیط‌های صنعتی داشته‌اند و این امر باعث آشنایی ناکافی آنها با مسائل عملی موجود در محیط‌های صنعتی می‌شود.

راهکار نهایی که شاید مشکل‌ترین مسیر باشد، ایجاد یک واحد اختصاصی بینایی ماشین در شرکت‌های خودروسازی می‌باشد. همان‌طور که بیان شد، استفاده از سیستم‌های بینایی ماشین در صنایع خودروسازی پیوسته در حال افزایش می‌باشد و با توجه به اینکه یکی از پایه‌های اصلی Industry 4، خروجی‌های سیستم‌های بینایی ماشین می‌باشد، در آینده در سالن‌های مختلف و برای کارکردهای مختلف نیاز به این سیستم‌ها به‌شدت احساس خواهد شد. لذا پیشنهاد می‌شود، تیمی از افراد مجرب تحت عنوان واحد اجرایی توسعه و پیاده‌سازی سیستم‌های بینایی ماشین، در بخش مهندسی کیفیت تشکیل گردد. اگرچه این مسیر مزایای بسیاری دارد، اما راه‌اندازی و به ثمر رسیدن تلاش‌ها در این واحد، زمان زیادی می‌طلبد و بایستی در ابتدا سرمایه‌گذاری خوبی برای آن در نظر داشت.

در مجموع با توجه به کلیه مباحث مطرح شده، پیشنهاد می‌گردد که تمام راهکارها همزمان اجرایی شوند. در واقع مدیران ارشد می‌توانند ابتدا جهت تأمین تعدادی از سیستم‌های حساس (سیستم‌های بازرسی جوش) و با اولویت بالا (سیستم‌های اندازه‌گیری سه‌بعدی و بررسی فرایند سیلرزنی) از شرکت‌های خارجی تلاش نمایند. همچنین به‌طور همزمان از دانش شرکت‌های داخلی و تیم‌های دانشگاهی در توسعه سیستم‌های فرایندهای ساده‌تر (اندازه‌گیری ضخامت ورق، بررسی کیفیت سطوح و اندازه‌گیری گپ و فلش) استفاده نماید. به‌علاوه مقدمات لازم را جهت ایجاد واحد اجرایی توسعه و پیاده‌سازی سیستم‌های بینایی ماشین انجام دهند تا این واحد سریع‌تر کار خود را آغاز نماید.

پیوست ۱- سیستم‌های شناسایی شده جهت تأمین اهداف مورد نظر

کاربرد	اولویت	سیستم / سنسور/ پکیج	تکنولوژی	شرکت	ایستگاه‌های کاری	مهمترین مزایا و محدودیت‌ها	تطابق با Industry4	سال ارایه سیستم	به روز بودن تکنولوژی
بررسی ژئومتریک و سه‌بعدی قطعات	۴	HALCON	---	MVtec	بلنکینگ- بعد از پرس خطوط پرس- انتهای خط ایستگاه‌های گلگیر، محفظه موتور، کفی کامل، درب‌سازی، کفی عقب، کفی جلو، بدنه جانبی، شاسی کامل در سالن‌های بدنه‌سازی	مطابق با نیازهای Industry ۴ بررسی خطوط، مناطق دایره‌ای یا بیضی شکل با دقت ۰٫۰۲ پیکسل انجام ساده کالیبراسیون دوربین‌ها و سنسورها	*	۲۰۱۳	*
	۶	IQ-VIS	---	ISRA Vision		مصورسازی سه‌بعدی به‌صورت‌برداری یا CAD و انیمیشن ارایه یک نمایش برخط از وضعیت کنونی کیفیت در تمام ایستگاه‌ها دسترسی سریع به مشکلات اندازه‌گیری آیتم‌ها و وضعیت آماری آنها		۲۰۰۸	
	۵	APS3D	Structured light- White light	ISRA Vision		قابل استفاده برای مواد و سطوح مختلف ایجاد داده‌های سه‌بعدی به‌صورت سریع و دقیق طیف سنسوری منعطف برای رزولوشن‌ها، فواصل و دامنه دیدهای متفاوت		۲۰۱۳	*
	۸	Shape Matching	---	ISRA Vision		محدودیت کارکرد در فواصل ۱۰۰ میلی‌متر تا ۱۵۰۰ میلی‌متر دقت بالا در حد ۰٫۰۱ میلی‌متر امکان اندازه‌گیری سه‌بعدی اشیاء در حال حرکت		۲۰۰۷	
	۳	X-GAGE3D	Stereo	ISRA Vision		داشتن دامنه دید وسیع (در حد ۶۰۰ میلی‌متر) دقت درحد میکرومتر امکان مقایسه نتایج با CAD Data	*	۲۰۰۴	
	۲	Comet	Structured light- Blue light	Ziess		مقاوم نسبت به نویز و ارتعاشات خارجی امکان اسکن قطعات بزرگ نظیر بدنه خودروها امکان اندازه‌گیری صفحات ساخته شده از مواد ترکیبی		۲۰۱۸	*
	۹	3D Scanning	Photogrammetry	Ziess		نیاز به مارکرگذاری نقاط هدف محدودیت کارکرد برای اجسام دارای ابعاد ۱۰۰ mm ۳ تا ۱۰ m ۳		۲۰۱۱	
	۱	ATOS	structured light- Blue light	GOM		مقایسه نمونه اسکن شده با اطلاعات CAD Data دقت بالا در محیط‌های دارای آلودگی سرعت بالا در اسکن صفحات تاریک و درخشان (۰٫۲ ثانیه برای ابعاد ۱۰۰۰ m ۳)		۲۰۱۷	*
	۱۰	ARGUS	Optical	GOM		عملکرد مستقل از نوع مواد سازنده امکان آنالیز اجزای ساخته شده تحت فرایندهای شکل‌دهی با فشار داخلی بالا (IHPF)		۲۰۰۷	
	۷	TRITOP	Optical	GOM		امکان اندازه‌گیری قطرها، طول‌ها، زوایا، سوراخ‌ها، لبه‌ها، قسمت‌ها و نقاط سطوح امکان مقایسه نتایج با CAD Data		۲۰۰۵	
بررسی کیفیت سطوح	۳	Surface Inspector Series	---	ISRA Vision	بلنکینگ- قبل از پرس بلنکینگ- بعد از پرس خطوط پرس- انتهای خط خطوط پرس- بعد از عملیات کشش اول و دوم	طبقه‌بندی عیوب از منظر تنوع، سایز و موقعیت راه‌اندازی آسان و پارامترهای خود تنظیم شونده سرعت ۱۰ قطعه / دقیقه تا ۱۵۰۰ قطعه / دقیقه بسته به اندازه قطعات		۲۰۰۶	
	۱	ABIS II	Optical	Ziess		نیاز به فضای آزاد و مجزا امکان استفاده در حین فرایند محدود به استفاده برروی ربات		۲۰۱۱	*
	۲	IQ-VIS	---	ISRA Vision		مصورسازی سه‌بعدی به‌صورت‌برداری یا CAD و انیمیشن ارایه یک نمایش برخط از وضعیت کنونی کیفیت در تمام ایستگاه‌ها دسترسی سریع به مشکلات اندازه‌گیری آیتم‌ها و وضعیت آماری آنها		۲۰۰۸	
بررسی کیفیت نقطه جوش‌ها	۱	VIRO WSI	Triangulation	Vitronic	ایستگاه‌های گلگیر، محفظه موتور، کفی کامل، درب‌سازی، کفی عقب، کفی جلو، بدنه جانبی در سالن‌های بدنه‌سازی	بررسی حجم جوش، عرض جوش، دفرمگی جوش، طول جوش و ضخامت جوش مقاوم در برابر شرایط محیطی		۲۰۱۴	
	۲	VIVA	---	ISRA Vision		سیستم جامع برای Guaging، Robot vision، Identification و Inspection دارای ابزارهای مدیریتی متناسب با کارکرد موردنظر		۲۰۱۱	
	۳	ABIS II	Optical	Ziess		نیاز به فضای آزاد و مجزا امکان استفاده در حین فرایند محدود به استفاده برروی ربات		۲۰۱۱	

کاربرد	اولویت	سیستم/ سنسور/ پکیج	تکنولوژی	شرکت	ایستگاه‌های کاری	مهمترین مزایا و محدودیت‌ها	تطابق با Industry4	سال ارایه سیستم	به روز بودن تکنولوژی
بررسی سیلرهای سقف و درب‌ها	۸	Inspector Bead 2D vision sensor	Triangulation	Sick	ایستگاه‌های درب‌سازی و کفی کامل در سالن‌های بدنه‌سازی	محدودیت کارکرد در فواصل کمتر از دو متر محدودیت استفاده به‌صورت ثابت و پس از پایان عملیات اندازه‌گیری تنها به‌صورت دوبعدی		۲۰۱۳	
	۱	BEADMASTER	Triangulation	ISRA Vision		امکان استفاده به‌صورت ثابت یا متحرک برروی ربات بررسی اتوماتیک و بر خط سیلرها کنترل ارتفاع، عرض و موقعیت سیلر		۲۰۱۶	*
	۴	SEAMSTAR ۳D	Multi-camera-laser sensor ((Triangulation	ISRA Vision		محدود به فرایندهای با دقت بیشتر از ۰٫۵ میلی‌متر سرعت عملکردی بسیار بالا در حد ۲۰۰ هرتز کنترل ارتفاع، عرض و موقعیت سیلر		۲۰۱۴	*
	۵	Sensor DS ۱۰۰۰	---	Cognex		اندازه‌گیری سه‌بعدی سیلر به‌صورت فوری قابل نصب برروی ربات		۲۰۱۶	
	۶	Electrical Module Seal Inspection	---	Cognex		شناسایی گپ‌های به وجود آمده در سیلرزنی تعیین مقدار و عرض سیلر قابل نصب برروی ربات		۲۰۱۶	
	۲	Predator3D	Multi-laser ((Triangulation	Coherix		کنترل ارتفاع، عرض و موقعیت سیلر فرکانس ۱۶۰۰ هرتز و نمونه‌برداری با ۴ لیزر ترکیبی محدودیت کارکرد در دمای صفر تا ۴۵ درجه		۲۰۱۶	*
	۳	RT|Vision Series	---	Quiss		امکان بازرسی موقعیت و عرض سیلر و گپ‌ها عدم اندازه‌گیری ارتفاع سیلر امکان استفاده برای انواع سطوح		۲۰۱۲	*
	۷	HALCON	---	MVtec		مطابق با نیازهای Industry ۴ بررسی خطوط، مناطق دایره‌ای یا بیضی شکل با دقت ۰٫۰۲ پیکسل انجام ساده کالیبراسیون دوربین‌ها و سنسورها	*	۲۰۱۳	*
بررسی ضخامت ورق	۲	OD	Laser	Sick	بلنکینگ- قبل از پرس	اندازه‌گیری با دقت ۱۰ میکرومتر با استفاده از لیزر سرعت بالا در نمونه‌برداری با نرخ ۸۰ کیلوهرتز اندازه‌گیری ضخامت برای ورق‌های با ضخامت کمتر از ۲٫۴ میلی‌متر		۲۰۱۵	*
	۱	L-Gage	Laser	BANNER		دقت در حد میکرومتر قابل استفاده برای اجسام تیره		۲۰۱۱	
بررسی و اندازه‌گیری گپ و فلش	۱	GFS3D	Multi laser lines (Triangulation)	ISRA Vision	سالن‌های پنل گیج ایستگاه کاموایر در سالن‌های بدنه‌سازی	محدودیت کارکرد در فواصل ۱۵ الی ۲۵ سانتی‌متری دقت در حدود ۰٫۱ میلی‌متر قابلیت کارکرد برروی انواع سطوح از جمله سطوح براق		۲۰۱۴	*
	۴	APS3D	Structured light-White light	ISRA Vision		قابل استفاده برای مواد و سطوح مختلف ایجاد داده‌های سه‌بعدی به‌صورت سریع و دقیق طیف سنسوری منعطف برای رزولوشن‌ها، فواصل و دامنه دیدهای متفاوت		۲۰۱۳	*
	۳	HALCON	---	MVtec		مطابق با نیازهای Industry ۴ بررسی خطوط، مناطق دایره‌ای یا بیضی شکل با دقت ۰٫۰۲ پیکسل انجام ساده کالیبراسیون دوربین‌ها و سنسورها	*	۲۰۱۳	*
	۶	Shape Matching	---	ISRA Vision		محدودیت کارکرد در فواصل ۱۰۰ میلی‌متر تا ۱۵۰۰ میلی‌متر دقت بالا در حد ۰٫۰۱ میلی‌متر امکان اندازه‌گیری سه‌بعدی اشیاء در حال حرکت		۲۰۰۷	
	۲	T-SCAN	Triangulation	Ziess		محدودیت کارکرد فقط در فواصل نزدیک نمایش همزمان نتایج ناحیه در حال اسکن امکان استفاده جهت اسکن اشیاء پیچیده		۲۰۱۵	*
	۵	TRITOP	Optical	GOM		امکان اندازه‌گیری قطرها، طول‌ها، زوایا، سوراخ‌ها، لبه‌ها، قسمت‌ها و نقاط سطوح امکان مقایسه نتایج با CAD Data		۲۰۰۵	

سپاسگزاری

از تمامی مدیران، سرپرستان و کارشناسان سالن‌های پرس و بدنه شرکت ایران‌خودرو که در به ثمر رسیدن این پژوهش، تیم پروژه را یاری کردند و با ارائه اطلاعات علمی و راهکارهای عملی موجب شدند که تصمیم‌سازی بهتری شکل بگیرد، بی‌نهایت سپاسگزاریم.

پی‌نوشت

۱. پرز و همکاران، ۲۰۱۶.

۲. لیو و همکاران، ۲۰۱۸.

۳. داسیلویرا و همکاران، ۲۰۱۸.

۴. گارسیا و بری، ۱۹۹۷.

۵. مینتبرگ، ۱۹۸۷.

۶. لی و همکاران، ۲۰۰۷.

۷. گردسری و کوکاکلو، ۲۰۰۷.

۸. ژانگ و همکاران، ۲۰۱۶.

مراجع

Blöhbaum, Frank (79312, Emmendingen, DE), (2017). Verfahren zur dreidimensionalen. Erfassung eines Objekts. DE SICK AG, 79183 (DE). DE102016109131.

Brzank, Alexander, Dr.-Ing. (30173, Hannover, DE) (2017). Vorrichtung und Verfahren zur dreidimensionalen optischen Vermessung eines Objektes mit mehreren esshilfsmitteln. DE GOM GmbH, 38122 (DE) DE102016102412.

da Silveira Junior, L. A. B., Vasconcellos, E., Guedes, L. V., Guedes, L. F. A., & Costa, R. M. (2018). Technology roadmapping: A methodological proposition to refine Delphi results. Technological Forecasting and Social Change, 126, 194-206.

Garcia, M. L., & Bray, O. H. (1997). Fundamentals of technology roadmapping (No. SAND--97-0665). Sandia National Labs., Albuquerque, NM (United States).

Gerdsri, N., & Kocaoglu, D. F. (2007). Applying the Analytic Hierarchy Process (AHP) to build a strategic framework for technology roadmapping. Mathematical and Computer Modelling, 46(7-8), 1071-1080.

Gomercic, Mladen, Dr. (38102, Braunschweig, DE), Kayser, Philipp (38102, Braunschweig, DE), Kern, Alexander (38104, Braunschweig, DE). (2016)b Verfahren und Vorrichtung zur dreidimensionalen Vermessung von Objekten mit konvex gekrümmten Geometrieanteilen und/oder Kanten. GOM - Gesellschaft für optische Meßtechnik mbH, 38106 (DE), DE102014119383.

Gomercic, Mladen, Dr. (38102, Braunschweig, DE), Evers, Tim (38104, Braunschweig, DE), Jörck, Michael (38114, Braunschweig, DE), Schmitlein, Alexander (38116, Braunschweig, DE), (2016)a. Messeinrichtung zum dreidimensionalen optischen Vermessen von Objekten mit einem topometrischen Sensor sowie Verwendung eines Multi-Laserchip-Bauelementes. GOM -Gesellschaft für optische Meßtechnik mbH, 38106 (DE), DE102014110960.

Hermann, Klaus, Dr.-Ing. (71116, Gärtringen, DE), (2017). Kamerasystem. Daimler AG, 70327 (DE). DE102016013503.

Jonas, Martin (89191, Nellingen, DE). (2017). Verfahren zur Bestimmung einer ahrwerksgeometrie DE Daimler AG, 70327 (DE) DE102017002891.

Langworthy, A., Bourne, G., Frearson, L., Howard, K., McKenzie, A., Peake, O. (2017). Roadmap to Renewables Energy. Link: https://roadmaptorenewables.nt.gov.au/?a=460760.

Lee, S., Kang, S., Park, Y., & Park, Y. (2007). Technology roadmapping for R&D planning: The case of the Korean parts and materials industry. Technovation, 27(8), 433-445.

Lilienblum, Tilo, and Wolfram Schmidt. "Device and method for measuring surfaces." U.S. Patent 9,418,449, issued August 16, 2016.

Liu, X., Furrer, D., Kosters, J., & Holmes, J. (2018). Vision 2040: A Roadmap for Integrated, Multiscale Modeling and Simulation of Materials and Systems. NASA Technical Reports.

Luxen, Marc (Aachen, DE), Erxleben, Jan (Wuerselen, DE). (2017). Method and a device for the inspection of surfaces of an examined object. United States. ISRA VISION AG (Darmstadt, DE). 9709390.

Merettig, Gerhard (Sexau, DE), Bergbach, Roland (Malterdingen, DE), Schonstein, Matthias (Freiburg,

Sarvari, P. A., Ustundag, A., Cevikcan, E., Kaya, I., & Cebi, S. (2018). Technology Roadmap for Industry 4.0. In Industry 4.0: Managing The Digital Transformation (pp. 95-103). Springer, Cham.

Stacey, Craig Daniel, and Jeffrey Paul Sargent (2016). "Optical surface roughness measurement." U.S. Patent Application 14/917,863, filed August 4.

Stokes, P. Grindley, N. (2015). Collaboration to Clarify the Cost of Curation. Roadmap report. Link: http://www.4cproject.eu/d5-2-roadmap-report.

Zhang, Y., Robinson, D. K., Porter, A. L., Zhu, D., Zhang, G., & Lu, J. (2016). Technology roadmapping for competitive technical intelligence. Technological Forecasting and Social Change, 110, 175-186.

DE), Horsch, Ingolf (Freiburg, DE), Gotz, Matthias (Freiburg, DE), Bohli, Alexander (Bad Krotzingen, DE). (2017). Optoelectronic sensor for recognizing object edges United States SICK AG. (Waldkirch/Breisgau, DE). 9677914.

Mintzberg, H. (1987). The strategy concept I: Five Ps for strategy. California management review, 30(1), 11-24.

Nubling, Achim, Thorsten Harter, and Carsten Ehrler. (2017), "Method of measuring an object." U.S. Patent 9,644,945, issued May 9.

Pérez, L., Rodríguez, Í., Rodríguez, N., Usamentiaga, R., & García, D. (2016). Robot guidance using machine vision techniques in industrial environments: A comparative review. Sensors, 16(3), 335.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی