بررسی روشهای اندازه گیری و کنترل ابعادی درصنعت و جایگاه فتوگرامتری صنعتی

امیرشاهرخ امینی (دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری)
آدرس: تهران – خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
Email:amirshahrokh_amini@yahoo.com
Tel : 09126467629

مسعود ورشوساز (عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی)
آدرس: تهران – خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
Email: varshosazm@kntu.ac.ir

چکیده

با توجه به روش‌های متنوع و رایجی که در کاربردهای کنترلی، بررسی کیفیت و اندازه گیریهای دقیق صنعتی وجود دارد، استفاده از روش فتوگرامتری بردکوتاه[1] با توجه به قابلیت ها و خصوصیات منحصر به فرد آن، از جایگاه مناسبی در کنترل کیفیت و اندازه گیری‌ها و مدلسازی‌های دقیق برخوردار گردیده است که وسعت این جایگاه رو به گسترش است. در این مقاله سعی گردیده با معرفی روش‌های گوناگون و رایج مورد استفاده در اندازه گیریهای دقیق صنعتی و مقایسه کارایی آنها، قابلیت‌ها و مزایای کاربردی روش فتوگرامتری برد کوتاه بیان شده و از آن بعنوان روشی کارآمد، قابل جایگزین و مقرون به صرفه نام برده شود.

کلمات کلیدی: *اندازه گیری دقیق، فتوگرامتری برد کوتاه، فتوگرامتری صنعتی[2]، کنترل کیفیت، لیزر اسکن، مدلسازی AS-Built، مهندسی معکوس[3].*

۱- مقدمه

امروزه، کنترل کیفیت از ارکان اصلی و مورد توجه صاحبان برای تولید محصولاتی با کیفیت قابل قبول می باشد. جهت رسیدن به این منظور نیاز است که محصولات، تجهیزات و ابزارهای مرتبط در خط تولید

[1] *Close Range Photogrammetry*
[2] *Industrial Photogrammetry*
[3] *Reverse Engineering*

تحت نظارت و کنترل قرار گیرند. با پیشرفت تکنولوژی و توسعه نرم افزاری و سخت افزاری ؛ ابزارها، الگوریتمها و روشهای مورد استفاده در پروسه کنترل کیفیت نیز پیوسته در حال بهبود و تغییر هستند. روشهای مکانیکی و اپتیکی رایج مورد استفاده در کنترل کیفیت یا با اعمال تغییرات به روز شده و در تکنولوژی آنها تغییراتی ایجاد شده است(مانند استفاده از لیزر در ابزارهای مکانیکی اندازه گیری) و یا روشها و تکنولوژی های جدید جایگزین شده است. همچنین با توسعه روش مهندسی معکوس گام مهمی در روند کنترل کیفیت برداشته شد و درتمامی مراحل طراحی، ساخت، نظارت و نگهداری، مهندسی معکوس نقشی کلیدی ایفا می کند. از یک دیدگاه می توان روشها و ابزارهای کنترل کیفیت را به دو بخش روشهای رایج و غیرژئودتیک و روشهای ژئودتیک تقسیم بندی نمود که هر کدام از این روشها، خصوصیات و مزایا و محدودیتهای خاص خود را دارد.

۲- مهندسی معکوس و مدلسازی *AS-Built* تجهیزات صنعتی

مهندسی معکوس پروسه‌ای است که در مراحل طراحی و ساخت جهت اطمینان از کیفیت محصول تولیدی بکار می‌رود و چرخه زمانی را کاهش می‌دهد. امروزه در صنعت به دلایل زیر از مهندسی معکوس استفاده می گردد [۱]:

- ایجاد اشکال متنوعی که با نرم افزارهای *CAD* به سختی مدلسازی می شوند.
- تولید هندسه کامل از اشیاء که مدلهای *CAD* نمی توانند آنرا تولید کنند.
- رفع نواقص بین مدل *CAD* اولیه و مدل واقعی بدست آمده از محصول
- سرعت بخشیدن به چرخه تولید و صرفه جویی در هزینه
- اطمینان از کیفیت محصولات تولیدی

ابزارها و امکانات صنعتی اکثراً در محیط های دینامیک قرار دارند که به منظور افزایش توانایی‌های آنها، لازم است که به نحو مطلوبی نگهداری و کنترل گردند. همچنین تولیدات صنعتی نیز باید مطابق با طرحهای ارائه شده باشد. در نتیجه لازم است که اولین تولیدات صنعتی با طرح و ساختارهای مورد نظر آزمایش و کنترل گردد و سپس خط تولید ادامه یابد. جهت این آزمایشها، مدلهای *AS-Built* بکار گرفته می‌شوند. با توجه به پیشرفت فتوگرامتری رقومی جهت استفاده در پروژه‌های پیچیده، صنعت فرصت یافته است که سیستم‌هایی با دقت بالا و در زمان کمتر تولید کند. در نتیجه احتیاجات مربوط به نقشه برداری *AS-Built* مرتفع شده و با فتوگرامتری رقومی قادر به ایجاد پایگاه داده وسیع از تعداد زیادی تصویر بصورت مقرون به صرفه در زمینه بخش عظیمی از تأسیسات صنعتی گردیده است [۹].

۳- نیازهای کنترل کیفیت در صنعت

بطور کلی **کیفیت** دو جنبه دارد که عبارتند از کیفیت طراحی و کیفیت انطباق [۱]. کیفیت انطباق یعنی اینکه محصول تا چه حد با مشخصات طراحی تلورانسها انطباق دارد. کلیه فعالیت هایی که مرتبط با تولید یا خدمات صورت می گیرد از جمله مباحث کنترل کیفی باید از لحاظ **هزینه** ها تحت کنترل باشند. نوع روش و ابزاری که جهت اعمال کنترل های کیفی بکار می رود باید به گونه ای انتخاب شوند که هزینه های سیستم کنترل کیفی را تا حد ممکن کاهش دهند.

زمان: از آنجایکه معمولا ایستگاههای کنترل کیفی سبب گلوگاه در خط تولید می شود باید تا حد امکان زمان مورد نیاز برای فرایند کاهش یابد تا نرخ تولید کل فرایند بهینه گردد (سیستم های کنترل کیفی آنی) [۱]. به ویژه اینکه با توجه به رشد فن آوری و افزایش سرعت عمل دستگاه های تولیدی و نرخ تولید آنها، به داشتن سیستمی که در زمان بسیار کوتاه قطعه را از نظر مشخصات فنی مورد بررسی و بازرسی قرار دهد رو به تزاید است و این سیستم باید قادر باشد در زمانی بسیار کوتاه، محصول را مورد آنالیز قرار داده و فرمان های اصلاحی مناسب را صادر کند.

دقت: باید گفت که در برخی صنایع مثل صنایع هوا-فضا، صنعت مدل سازی و قالب سازی و به طور کلی صنایع دقیق که نیاز به دقت های بالا دارند، و با توجه به اینکه بعضی اوقات با جان انسان سر وکار دارد، بحث هزینه نیز در مقابل دقت از اهمیت کمتری برخوردار است و باید از یک سیستم کنترل کیفی که پاسخگوی نیاز و دقت باشد استفاده کرد [۱]. برای مثال در صنعت مدلسازی ؛ مدل اولیه با دقت بسیار بالا مانند دقتهای بالای ۱:۱۰۰۰۰۰ ساخته می شود، دقیق تر بوده و از کیفیت بالاتری برخوردار می باشند که این خود سبب کاهش هزینه های بعدی مثل هزینه دوباره کاری، عدم رضایت مشتری و... خواهد شد.

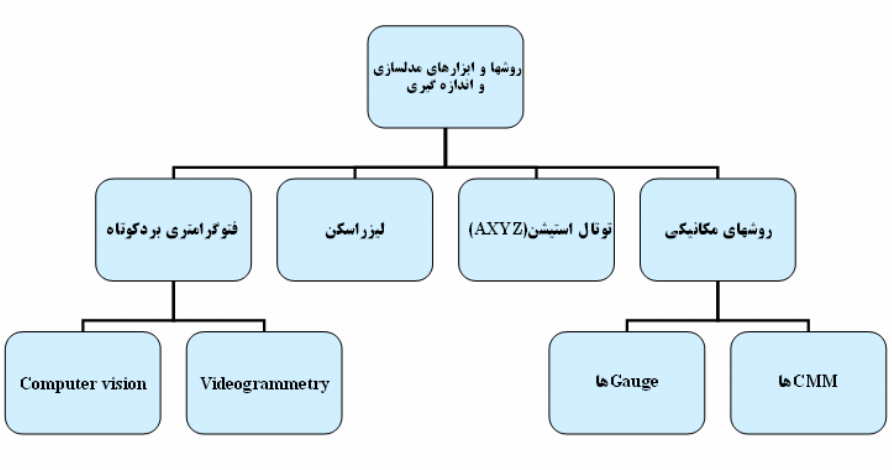
عوامل دیگری نیز غیر از هزینه و دقت در تعیین سیستم کنترل کیفی موثر می باشند. به طور مثال در برخی **شرایط محیطی** امکان استفاده از انواع متداول ابزارهای کنترل کیفیت وجود ندارد و صرفا باید از سیستم های خاصی استفاده کرد. برای مثال در صنایع هسته ای که با خطرات جانی مواجه هستیم صرفا باید از ابزارهای خاص کنترل کیفیت و بررسی و بازرسی استفاده کرد یا در صنایعی مثل ذوب فلزات که با درجه حرارت های بالا سروکار داریم و امکان تماس مستقیم وجود ندارد، تنها راه کنترل کیفیت استفاده از ابزارهای کنترل کیفی از راه دور می باشد.

اتوماسیون: درجه اتوماسیون ابزارهای کنترل کیفی وابسته به عواملی چون هزینه، زمان، دقت مورد نیاز و محدودیت های کاربردی می باشد. در برخی جاها با توجه به نیاز به دقت و سرعت عمل بالا، استفاده از ابزارهای اتوماتیک اجتناب ناپذیر است [۱]. در صنایعی مانند خودروسازی و یا صنایعی که حجم محصولات تولیدی بالا است، نیاز به تصمیم گیری سریع داریم که در نتیجه نیاز به اتوماسیون غیر قابل اجتناب است.

سیستم های کنترل کیفی همیشه باید قادر باشند تا محصولات تولید شده را از لحاظ انطباق با مشخصات فنی یا همان تلورانسها مورد بررسی قرار دهند که این تلورانسها نیز خود به دو دسته **تلورانسهای هندسی و تلورانسهای ابعادی** تقسیم میشوند [۱]. برای مثال برای بررسی انطباق یک قطعه ساخته شده به شکل کره با یک کره واقعی از تلورانسهای هندسی استفاده می شود و جهت بررسی انطباق قطر کره ساخته شده با قطر کره اولیه از تلورانس ابعادی استفاده می شود. البته باید **انعطاف پذیری** مواد مورد استفاده در محصول ساخته شده را جهت تعیین نوع سیستم کنترل کیفیت مد نظر قرار داد. به عنوان مثال اگر ماده مورد استفاده دارای قابلیت ارتجاع باشد، نمی توان از سیستم های مکانیکی تماسی جهت برداشت ابعاد جسم استفاده کرد. همچنین در مواردی که شکل ظاهری قطعه دارای پیچیدگیهای زیاد می باشد نیز امکان استفاده از این ابزارها وجود ندارد و باید از و ابزارهای خاصی استفاده کرد ؛ مثل کنترل کیفی یک سیلندر ریخته گری شده که دارای پیچیدگی های سطحی زیاد می باشد.

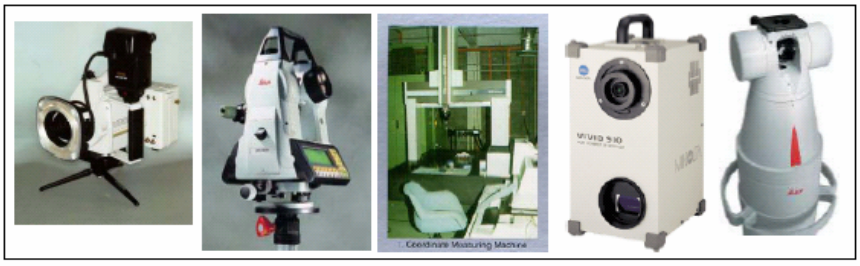
۴- روشها و ابزارهای اندازه گیری و مدلسازی درصنعت

بطورکلی می توان روشهای اندازه گیری و مدلسازی را به روشهای مکانیکی، توتال استیشن، لیزراسکن[4] وفتوگرامتری بردکوتاه تقسیم نمود[۱۲]. این تقسیم بندی درنمودار (۱) نشان داده شده است:



نمودار۱: روشهای کلی مدلسازی و اندازه گیری در صنعت

در تصویر (۱) نمونه هایی از این سیستم ها دیده می شود:



تصویر۱: بترتیب از سمت راست نمونه هایی از سیستم های لیزراسکن، *CMM*، توتال استیشن و فتوگرامتری

دستگاه های مکانیکی معمولا متشکل است از سه محور عمود بر هم که در انتهای یکی از محورهـای آن یک هد مخصوص اندازه‌گیری موسوم به *Probe* قرار گرفته است. برای اندازه‌گیری یک قطعه ابتدا باید آنـرا در دستگاه ثابت نموده و سپس با هدایت *Probe* دستگاه به نقاط مورد نظر، مختصات آنها در سیستم ثبت شود.

یکی از روشهای برداشت یک قطعه صنعتی، استفاده از روشهای ژئودزیک مانند توتال استیـشن هـا مـی باشد. با این ابزارها در یک سیستم مختصات مبنا، برداشت نقاط مهم قطعات انجام می‌شود. سیستم‌هـای جدیـد *Total station* بی نیاز از رفلکتورها به اندازه‌گیری می پردازند و عمدتاً دقتهای مناسبی نیز ارائه می دهند.

[4] *Laser Scan*

سیستم **لیزر اسکن** معمولاً روی یک سه پایه قرار می گیرد و می تواند تحت زاویه‌های مختلفی عمل اسکن کردن را انجام دهد. اطلاعات برداشت شده نیز معمولاً در یک کامپیوتر متصل به آن ذخیره می‌شوند. از خصوصیات مثبت استفاده از لیزر اسکن جهت مدلسازی، برداشت انبوه و متراکم نقاط می‌باشد.

فتوگرامتری تکنیک بدست آوردن اطلاعات در مورد موقعیت، ابعاد و شکل شئی بکمک اندازه‌گیری بر روی تصاویر اشیاء بجای اندازه‌گیری مستقیم روی آنها می‌باشد. فتوگرامتری برد کوتاه روشی است که در آن با استفاده از تصاویر مختلف که بصورت همگرا از اطراف عارضه برداشت گردیده‌اند، به مدلسازی، اندازه‌گیری یا محاسبه مختصات سه بعدی نقاط اقدام می‌گردد[۱۲].

۱-۴- روشهای مکانیکی

روشها و ابزارهای اندازه گیری و مدلسازی مکانیکی، بصورت متنوعی وجود دارند که اهم آنها در این بخش ذکر می‌گردد:

***CMM*[5]ها:** *CMM* ابزاری جهت اندازه‌گیری سه بعدی می‌باشد که قادر به اندازه‌گیری دقیق اجسام سه بعدی است. شکل ظاهری دستگاه عبارتست از سه محور عمود بر هم که در انتهای یکی از محورهای آن یک هد مخصوص اندازه‌گیری موسوم به *Probe* قرار گرفته است. *Probe* ابزاری جهت تهیه پروفیل و اندازه‌گیری نقطه به نقطه روی قطعات می‌باشد. *Probe* ها بصورت دینامیک و استاتیک طراحی شده‌اند. *Probe* های چند منظوره نیز جهت برداشت مختصات سه بعدی و تهیه پروفیل با سرعت بالا طراحی گردیده‌اند [۸].

از انواع *CMM* ها می توان به موارد زیر اشاره کرد [۸]:

CMM های قابل حمل، *CMM* های دستی، *Rebuilt CMM* ، *CMM* های بزرگ، *CMM* های افقی وعمودی، نانو*CMM* ها.

***Gauge* ها:** یکی از ابزارهای مکانیکی اندازه‌گیری درصنعت سیستم‌های *gauge* می باشد. این ابزار قادر به اندازه‌گیری دقیق قطعات می‌باشد. لازم به ذکر است که این سیستم‌ها نیز به کالیبراسیون خاص خود نیاز دارند. در سیستم‌های *gauging* که مجهز به کامپیوتر هستند می توان پس از اندازه‌گیری و برداشت بوسیله دستگاه، داده‌ها را در کامپیوتر پردازش کرد و مدل سه بعدی و مختصات سه بعدی قطعات را بدست آورد[۴].

۲-۴- لیزراسکن ها

لیزر اسکن ابزاری موثر و با صرفه جهت مدلسازی سه بعدی قطعات می‌باشد که می تواند با سرعت و دقت بالا به برداشت نقاط بپردازد. پروسه مدلسازی سه بعدی توسط لیزر اسکن در پنج مرحله کلی زیر انجام می‌شود:

۱- تارگت گذاری عارضه
۲- اسکن شئی و تولید ابر نقطه
۳- رنگی کردن نقاط
۴- اتصال و یکپارچه نمودن داده‌های اسکن شده و تولید یک پایگاه داده
۵- ایجاد یک مدل سه بعدی

از خصوصیات مثبت استفاده از لیزر اسکن جهت مدلسازی، برداشت انبوه و متراکم نقاط می‌باشد[۷].

[5] *Coordinate Measuring Machine*

۱-۲-۴- کاربردهای لیزر اسکن

بازبینی سریع و تصدیق: سرعت و دقت بالای لیزر اسکن‌ها، آنها را تبدیل به ابزارهایی جهت بازبینی و تأیید کیفیت تولیدات نموده است. جهت اندازه‌گیری سریع تولیدات پیچیده و همچنین پروفیل‌ها و مقاطع، لیزر اسکن وسیله بسیار مناسبی است [۱۴].

مهندسی معکوس: با توجه به سرعت بالای لیزر اسکن‌ها که حدود ۴۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ نقطه در هر ثانیه برداشت می‌کنند، می توان از آنها در مهندسی معکوس استفاده کرد. به این ترتیب که ابتدا یک ماکت از محصول تولیدی مورد نظر را مطابق طرح *CAD* اولیه آن می‌سازند، سپس این قطعه اولیه بوسیله لیزر اسکن برداشت شده و مدل سه بعدی آن بوسیله سیستم‌های مرتبط بالیزر اسکن تهیه می‌گردد. مدل *CAD* بدست آمده با طرح اولیه مقایسه می‌شود و عیبهای مدل ساخته شده مشخص شده و در تهیه مدل بعدی بکار گرفته می شود و در تمام مراحل بهبود قطعه، لیزر اسکن مدل قطعه را بازسازی می کند تا محصول نهایی با کیفیت مورد نظر بدست آید [۱۴].

۲-۲-۴- تلفیق *CMM* و لیزراسکن

با تلفیق *CMM* ها و *probe* های لیزری، زمان اندازه‌گیری دستگاههای متداول بسیار کاهش می‌یابد. با پیشرفت و پیچیدگی قطعات و نیاز به دقتهای بالای هندسی، نیاز به برداشت نقاط بصورت متراکم، احساس شد که زمان برداشت این نقاط با دستگاههای متداول ممکن است به چند روز برسد. برای برداشت اجزای ریز، *probe* ها دارای مشکل هستند و بعنوان مثال نمی توانند براحتی حفره‌های کوچک را برداشت کنند. مشکل دیگر، در مورد جنس برخی از مواد و قطعات ساخته شده است که *probe* های رایج دربرداشت آنها مشکل دارند[۵].

برای حل این مشکلات، می توان *probe* ها لیزری را جایگزین *probe* های مکانیکی کرد. در این سیستم‌ها، چون از نور لیزر خطی جهت برداشت استفاده می شود، می توان بدون تماس با قطعات، آنها را اندازه‌گیری کرد و تغییری در سطح قطعات بوجود نمی‌آید. همچنین می توان سطوح پیچیده و سوراخهای ریز را با این روش براحتی اندازه‌گیری کرد. بطور کلی می توان فواید تجهیز *CMM* ها به لیزر اسکن را بصورت زیر خلاصه کرد:

- برداشت هزاران نقطه در هر ثانیه.
- کاهش زمان نظارت و مهندسی معکوس
- برداشت هندسه کامل قطعه بجای برداشت منطقه‌ای و محدود
- دقت بالا بواسطه حجم زیاد نقاط
- عدم تماس با قطعات انعطاف پذیر
- قابلیت اسکن اجزای پیچیده
- اتوماسیون

۳-۴- فتوگرامتری بردکوتاه

فتوگرامتری برد کوتاه روشی است که در آن با استفاده از تصاویر مختلف که بصورت همگرا از اطراف عارضه برداشت گردیده‌اند، به مدلسازی، اندازه‌گیری یا محاسبه مختصات سه بعدی نقاط اقدام می‌گردد. در این

روش می توان از دو روش همراه با تارگت[6] یا بدون تارگت[7] استفاده نمود[۱۰]. بطورخلاصه می توان ازکاربرد فتوگرامتری درصنعت، موارد زیررانام برد[۳]: هواپیماسازی، مهندسی هوا- فضا، اتومبیل‌سازی، صنایع دریـایی، صنایع هسته‌ای، معدن و ژئوتکنیک، بررسی و کنترل تجهیزات و ماشین‌آلات.

۱-۳-۴- فتوگرامتری برد کوتاه و کنترل کیفیت تجهیزات صنعتی

در این روش می توان با داشتن مختصات تعداد محدودی از نقـاط بـه انـدازه‌گیـری بیـشمار نقطـه روی عارضه پرداخت و جابجایی نقاط را با تراکم بیشتر بدست آورد. این امکان از نظر زمانی بسیار بـا صـرفه تـر از روشهای معمول می‌باشد. مزیتهای کلی کنترل کیفیت صنعتی بوسیله روشهای فتوگرامتری برد کوتـاه عبارتـست از [۶]:

- زمان کم اخذ داده و پردازش سریع
- عدم ارتباط مستقیم با شئی
- استخراج داده‌ها با دقت بالا
- قابلیت بکارگیری در مناطق پر خطر
- قابلیت ورود به سیستمهای *GIS* و *CAD*
- انعطاف پذیری بالا در ایستگاه‌گذاری
- دستیابی به اطلاعات همگن
- اندازه‌گیری همزمان تمام شئی
- دقت‌های بالا حتی تا ۱:۲۰۰۰۰۰ (با توجه به پیشرفتهای اخیر در *CCD*)
- ثبات وعدم تاثیر تغییرات حرکتی شئی یا محیط
- تعداد زیاد داده‌ها

۲-۳-۴- انواع سیستم‌های فتوگرامتری صنعتی

بطور کلی سیستم‌های فتوگرامتری را از جهت نوع کاربرد و چگونگی اندازه‌گیـری و ارائـه نتـایج بـه دو دسته کلی می توان تقسیم بندی کرد: سیستم‌های آنی[8] و سیستم هـای غیرآنـی[9]. سیـستم‌هـای غیـر آنـی همـان سیستم های صنعتی و اولیه فتوگرامتری صنعتی می باشند که در آنها فاز اندازه‌گیری و جمع آوری داده‌ها از فاز اندازه‌گیری‌های تصاویر و پردازش داده‌ها جدا می‌باشد، در حالی کـه در سیـستم‌هـای آنـی، خروجـی و نتـایج بدست آمده بصورت همزمان یا نزدیک به زمان جمع آوری داده‌ها است. همانطور کـه پیداسـت، سیـستم‌هـای *on-line* از تصاویر رقومی و سیستم‌های *off-line* از فیلم استفاده می کنند[۳].

۳-۳-۴- سیستم های *Computer Vision*

بکارگیری سیستم‌های اندازه‌گیری*VMS*[10] در صنعت روبه گسترش اسـت. ایـن سیـستم‌هـا بخـصوص در اندازه‌گیری‌های تکراری و اندازه‌گیری های ترکیبی که بسیاری از روشهای معمول در آن نـاتوان هـستند، بـسیار موفق و دقیق عمل می کنند[۱۵]. توانایی سیستم‌های *VM* در ردیابی تارگتها، اندازه‌گیری و آزمایشهای بصورت

---

[6] *Targeting*
[7] *Non Targeting*
[8] *On Line Systems*
[9] *Off Line Systems*
[10] *Vision Metrology Services*

دینامیک را ممکن ساخته است. در نتیجه موقعیت و مختصات نقاط می توانند سریع محاسبه شده و تغییرات آنی بدست آیند. از خصوصیات سیستم‌های *VM* می توان به موارد زیر اشاره کرد[۱۵]:

- اندازه‌گیری بدون تماس
- استفاده از سنسورهایی با پایداری هندسی
- قابلیت آنالیز و تعیین خطاها
- قابلیت اندازه‌گیری تست های دینامیک و استاتیک.

۵- مقایسه و نتیجه گیری

توانایی های روشهای ارائه شده را می توان ازجهات و پارامترهای مختلفی با یکدیگر مقایسه کرد. این پارامترها می توانند بصورت زیر بیان گردند:

- **شکل و ساختار:** چنانچه جنس و ساختارشئی حساس و تغییرپذیرباشد، روشهای اندازه گیری تماسی مانند *CMM* ها و *Gauge* ها نمی توانند روشهای مناسبی باشند و لازم است که ازروشهای غیر تماسی مانند لیزراسکن و یا فتوگرامتری استفاده گردد.
- **اندازه و ابعاد شئی:** با اینکه سیستم های مکانیکی متنوعی جهت اندازه گیری طراحی گردیدند ؛ اما حتی *CMM* های بزرگ نیز دراندازه گیری های بزرگ مشکل دارند و حداکثر برای ابعاد اتومبیل ها مناسب هستند. برای اشیاء با ابعاد بزرگ، روشهای غیر تماسی مانند لیزراسکن و یا فتوگرامتری مناسب می باشند. البته اگر ابعاد شئی خیلی بزرگ باشد ؛ مانند مدلسازی کشتی ها ؛ دراستفاده از لیزراسکن با واگراشدن اشعه ها مواجه خواهیم شد.
- **انعطاف پذیری:** سیستم های مکانیکی دراندازه گیری اشیاء پیچیده، ضعف دارند. حتی درسیستم های فتوگرامتری نیز که نیاز به دید مستقیم می باشد، نواحی پنهان مشکل ساز می شوند. در این شرایط لیزراسکن ها که حجم عظیمی از داده ها را برداشت می کنند، قابلیت خوبی دارند.
- **شرایط محیطی:** درشرایط محیطی خاص مانند محیط هایی باحرارت بالا ویا محیط های خطرناک، سیستم هایی که اندازه گیری را بصورت تماسی انجام می دهند، کارایی ندارند و تنها روش فتوگرامتری برد کوتاه دراین شرایط جوابگو است.
- **زمان:** معمولا روشهایی که اندازه گیری نقطه به نقطه انجام می دهند، زمان زیادی را صرف اندازه گیری می کنند. مخصوصا درجاهایی که به اندازه گیری باسرعت بالا و*on-line* وحجم زیاد داده ها احتیاج است، روش فتوگرامتری برد کوتاه روشی مناسب به شمار می آید.
- **هزینه:** هزینه از جمله عوامل مهمی است که دراندازه گیری ها و کنترل های صنعتی، بسیار مدنظر قرار می گیرد. معمولا سیستم های *CMM* و لیزر اسکن ها دارای قیمتهای بالایی هستند که درموارد خاصی که مقرون به صرفه هستند، کارآمد می باشند. معمولا روشهای فتوگرامتری دراین زمینه روشی ارزان هستند.
- **دقت:** مهمترین عامل موردتوجه دراندازه گیری ومدلسازی های صنعتی پارامتر دقت می باشد ؛ زیرا هدف اصلی اندازه گیری های دقیق، رسیدن به دقتهای بالا جهت تولیدات وکنترل های مناسب و دقیق است. بجز در موارد وشرایط خاص مطرح شده، اکثرا دقت بعنوان پارامتر شاخص دراندازه گیری های صنعتی مطرح می گردد. بدین منظور درتمام روشهای ذکرشده ، ابزار هایی با دقتهای بالا طراحی شده است. امروزه *CMM* های دقیق حتی دقتهای حدود میکرون را ارائه می دهند ویا لیزر

اسکن ها با توجه به حجم عظیم بالای داده هادارای دقتهای بالایی هستند. با توجه به اهمیت این پارامتر، دراین بخش حول دقت روشها وابزارهای ذکرشده بحث می گردد:

۱- روشها و **ابزارهای مکانیکی** مانند *CMM* ها معمولا گران قیمت بوده و مناسب بافتهای انعطاف پذیر و سطوح پیچیده نیستند و برداشت با آنها نیز زمانبر می باشد ؛ یعنی در کاربردهای خاصی مناسب می باشند.

۲- در استفاده از *Total station* ها، علاوه بر اطلاعات هندسی نیاز است که اطلاعات توصیفی نیز جمع آوری شود که از محدودیتهای این سیستم ها می باشد. در استفاده از دوربینهای نقشه برداری در محیط های کوچک و بسته مشکلات زیر ممکن است بوجود آید:

- فواصل کوتاه
- دقت پایینتر

۳- هدف ازاستفاده از **لیزراسکن** در زمینه های کاربردی، ایجاد یک مدل سه بعدی جهت نمایش و طراحی و برنامه ریزی می باشد. برای بهره گیری مناسب از لیزر بایستی پارامترهایی را درنظر گرفت که نتایج استفاده از این پارامترها نسبت به کاربرد متفاوت می باشد. این پارامترها عبارتند از [۲]:

- ماکزیمم فاصله ۲۰۰متر
- ۲۵میلی متر> محدوده دقت > ۳ میلی متر
- زاویه میدان دید: پانوراما و دوربینی
- روش اندازه گیری: مثلث بندی – اندازه گیری زمان رفت و برگشت

در روش مثلث بندی نقاط از دانسیته بالایی برخوردار هستند و فاصله در این روش بدلیل ساختار تکنیکی کم است، اما زمان زیادی جهت ویرایش *(edit)* داده های لیزراسکن نیاز است که از معایب لیزراسکن ها می باشد[۲]. در جدول (۱) کارایی و برخی زمینه های کاربرداسکنرها آورده شده است.

جدول۱: زمینه های کاربرداسکنرها و پیش نیاز آنها

نوع میدان دید	روش اندازه گیری	دقت مدل	برد طول	زمینه کاربرد
دید پانوراما	زمان رفت و برگشت	*25mm> to >5mm*	*50*	تهیه *As-built*
دید دوربینی	مثلث بندی	*1mm>*	*10*	نقشه برداری صنعتی

٤- دامنه کاربرد **فتوگرامتری برد کوتاه** بسیار وسیع می باشد. دقت های درخواست شده را می توان با بکارگیری انواع دوربین ها و لنزها در شرایط و موقعیت های مختلف برآورده کرد. با استفاده از دوربین های رقومی می توان سریعتر عکسهای گرفته شده را تبدیل به نقشه کرد. یکی از مهمترین مزایا و محاسن فتوگرامتری رقومی این است که زمان کمی صرف عکسبرداری و پردازش عکسها می شود. برای تبدیل اشکال هندسی به لبه ها که امکان برداشت آنها توسط اسکنر بصورت واحد وجود ندارد، می توان از تصویر تهیه شده فتوگرامتری استفاده کرد. اطلاعاتی از قبیل نوع ماده، رنگ و همچنین خرابی های وارد شده را نمی توان از طریق ابر نقاط بدست آورد [۲]. در جدول (۲)، بعنوان نمونه، دقت های حاصل از انجام تحقیقات در زمینه میراث فرهنگی بوسیله فتوگرامتری صنعتی بر اساس تحقیقات سازمان میراث فرهنگی و گردشگری آورده شده است.

جدول ۲: دقت مورد انتظار در روش فتوگرامتری صنعتی

دقت ٪	دقت برای اجسام با ابعاد ۱۰ متر	دوربین
بهتر از ۰،۰٤درصد	بهتر از ٤ میلیمتر	دوربینی که دارای *Reseau* می باشد
بهتر از ۰،۰٤درصد	بهتر از ٤ میلیمتر و بهتر از ۰،۳ میلیمتر در صورت استفاده از *Signaled Points*	دوربین رقومی
معمولا بهتر از ۰،۳درصد	معمولا بهتر از ۳۰ میلیمتر	دوربینهای غیر حرفه ای بدون *Reseau*

۶- پیشنهاد

با توجه به پارامترهای مذکور می توان گفت که روش فتوگرامتری برد کوتاه بعنوان روشی دقیق، سریع، کارآمد و اقتصادی می تواند در مدلسازی، اندازه گیری وکنترل های صنعتی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به ناآشنا بودن اکثر صاحبان صنایع با روش فتوگرامتری صنعتی، پیشنهاد می گردد که با معرفی کاراییهای این روش در صنعت و آشنا نمودن صاحبان صنایع با این روش، و همچنین انجام پروژه های عملی و تحقیقاتی و تست های گوناگون در این زمینه، راه برای ایجاد و توسعه جایگاه واقعی این ابزار کارآمد و اقتصادی فراهم گردد.

۷- منابع

[۱] داگلاس سی. مونتگومری ، " کنترل کیفیت آماری "، ترجمه رسول نور السناء، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

[۲] مقاله تحقیقاتی ، " لیزراسکن سه بعدی، فتوگرامتری رقومی، دوربین نقشه برداری "، سازمان میراث فرهنگی و گردشگری، ۱۳۸۳.

[۳] *Atkinson , 1996 , "Close Range Photogrammetry and Machine Vision", Whittles Publishing.*

[۴] *Blum-Novotest Company , Kaufstr. 14, Postfach 1202 D-88182 Ravensburg.*

[۵] *C. Martin Schuster , " CMM Laser Scanning Probe " , Laser Design, 9401 James Ave.*

[۶] *Cooper, Robson, 1996 , "Ttheory of Cose Range Photogrammetry " , Whittles Publishing.*

[۷] *Edward Jaselskis , " Virtual Reality & Laser Scanning Applications " , Iowa State University.*

[۸] *Francis T.Farage , 1985 , "Handbook of Dimensional Measurement".*

[۹] *Fraser, 1996, "Industrial Measurement Applications" Whittles Publishing.*

[۱۰] *Fraser, 1999, "Automated Vision Metrology for Precise 3D Engineering and Industrial Surveying", the Department of Geomatics the University of Melbourn Parkville VIC 3052, March.*

[۱۱] *Fraser, 1999, "Automated Vision Metrology: A Technology for Industrial Inspection and Engineering Surveys ", the Department of Geomatics the University of Melbourn Parkville VIC 3052, March.*

[۱۲] *Halim Setan & Mohd Sharuddin Ibrahim , 2003 , " Precise Measurement and 3D Modeling for Industrial Applications " , Malaysia.*

[۱۳] *Kiyoshi Takamasu , Satoshi Ozawa , Takayuki Asano , 1996 , " Basic Consepts of Nano-CMM " , University of Tokyo.*

[۱۴] *Kristine I. Spangard , " New Advances in 3D Laser Scanning Technologies from Laser Design ".*

[۱۵] *N. G. Woodhouse, S. Robinson and J. R. Eyre , 1999 , " Vision Metrology and Three Dimentional Visualization in Structural Testing and Monitoring " , University College London.*

[۱۶] *Time compression magazine , March/April 2004 , Volume12.*