همایش ژئوماتیک ۸۴

کاربرد فتوگرامتری جهت تشخیص بیماری اسکولیوسیس

محمد جواد ولدان زوج، مسعود ورشوساز، اکرم جعفرآقایی
تهران –خیابان ولی عصر–تقاطع میرداماد– روبروی ساختمان اسکان–دانشکدهٔ مهندسی نقشه برداری
دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
varshosazm@yahoo.com;valadanzouj@kntu.ac.ir;a_jafaraghaei@yahoo.com
فاکس: ۸۷۷۹۴۷۶
تلفن: ۸۷۷۰۲۱۸

چکیده

در این مقاله به روند کاری یک سیستم فتوگرامتری برد کوتاه جهت تشخیص بیماری اسکولیوسیس پرداخته شده است. اسکولیوسیس یک انحنای غیرنرمال فقراتی می باشد که در طول رشد اسکلت بدن از همان دوران کودکی ظاهر می شود. روشهای رایج جهت تشخیص اسکولیوسیس نظیر رادیوگرافی، MRI و CT گران و خطرناک برای بدن هستند و لذا نمی بایست اغلب تکرار شوند. پس از انتخاب دو دوربین و کالیبراسیون آنها، تصویربرداری از پشت بدن کودک که تارگت گذاری شده بود؛ در سه وضعیت مختلف با تغییر فاکتور فاصلهٔ باز به ارتفاع دوربینها توسط دو دوربین بطور همزمان انجام شد. پردازش تصاویر مربوطه و بررسی نتایج، نشان داد که با شرایط زیر دقت قابل قبول زیر میلی متر قابل دسترسی است(در حدود ۰،۷ میلی متر):

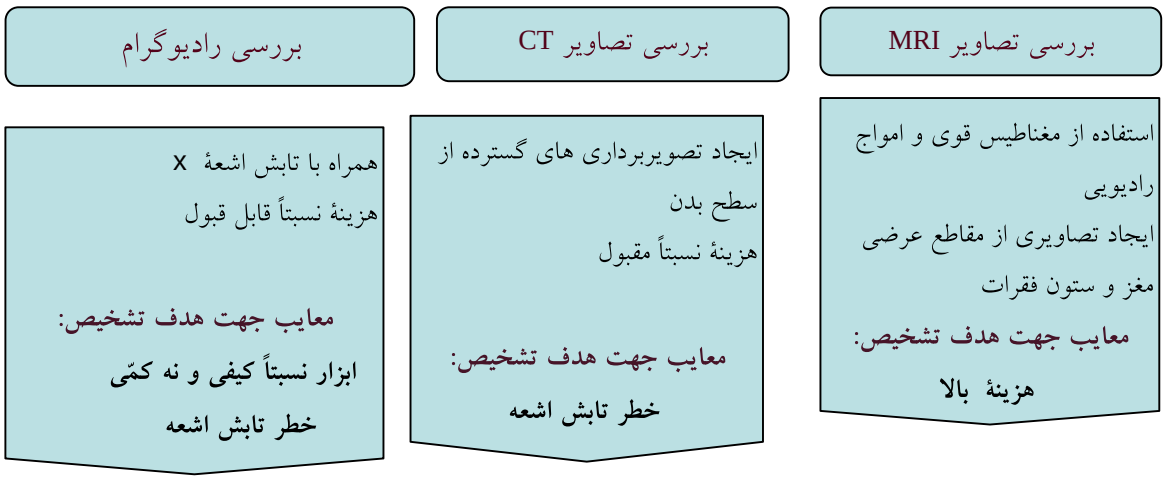
دو دوربینِ دیجیتال Olympus C740 با فاصلهٔ کانونی ۶،۳ میلیمتر برای اخذ همزمان تصاویر، شبکه ای به ابعاد ۱×۰،۸ متر مربع بعنوان سیستم کنترل، تارگت هایی با قطر ۰،۰۱متر، بهره گیری از تخصص پزشکی در ستون فقرات جهت تارگت گذاری روی نقاط خاص منظوره، فاصلهٔ باز به ارتفاع دو دوربین برابر ۱۲۰/ ۲۴۰(سانتی متر) ، ارتفاع تصویربرداری ۱،۴ متر و استفاده از ۵۰ مشاهدهٔ نقطه ای. در نهایت، از داده های سه بعدی حاصل از بهترین حالت تصویر برداری، برای بررسی کمی و کیفی انحنای اسکولیوسیس فرد و نیز ثبت و نگهداری مشخصات فقراتی وی جهت اهداف کنترل رشد فرد، بهره گیری شد.

کلمات کلیدی: اسکولیوسیس، آماده سازی، پزشکی، تارگت، ، دوربین استیل رقومی، رادیوگرافی، سیستم کنترل، فتوگرامتری، کالیبراسیون، وب کم.

۱– مقدمه

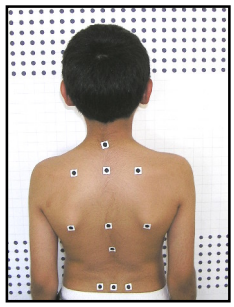
آرایشهای نامنظم فقراتی در نوجوانان انحناهایی را تولید می‌کند که مشکلات فقراتی را در زندگی بزرگسالی ایجاد می‌کند. لذا منظور از انحنا، یک منحنی فقراتی غیر نرمال است. اسکولیوسیس یک نوع از این انحناهاست که

پیچ پهلو به پهلو دارد و در طول رشد اسکلت انسان ظاهر می‌شود. اسکولیوسیس در نوجوانان و بیشتر در میان دختران شایع می‌باشد که عمدتاً بر مهره‌های وسط یا کمر(استخوانهای سازندهٔ تیرهٔ پشت بدن را مهره‌گویند) اثر می‌گذارد و اکثراً هم با دردی همراه نمی‌باشد. این بیماری بسرعت بهنگام رشد بیمار تغییر می‌یابد و یک کنترل مداوم از پیشرفت آن، بمنظور دستیابی به بهترین درمانِ ممکن، امری ضروری تلقی می‌گردد. افراد در تمام بازه‌های سنی می‌توانند اسکولیوسیس داشته باشند اما تمرکز این مقاله بر بچه‌ها و نوجوانان می‌باشد. برای امر تشخیص، پزشک از روشهای مختلفی استفاده می کند همانند رادیوگرافی، MRI، CT. معایب هر یک از این روشها در شکل ۱ دیده می شود.



شکل ۱– ارزیابی سه نوع تصویرسازی رادیوگرافی،MRI ، CT

همانگونه که دیده می شود موارد خطر تابش اشعه و هزینه، عمده معایب مطرح در زمینهٔ بهره گیری از این روشها در تشخیص این بیماری می باشد. پس از بررسی محاسن و معایب هر کدام از این روشها، فتوگرامتری در مقایسه با آنها بدلایل هزینه و خطر کم، برای هدف موردنظر انتخاب شد تا بررسی شود که مدل سازی سه بعدی نقاط خاص پشت بدن (شکل ۲) با دقت ۱ میلی متر، با این روش آیا امکان پذیر است یا نه؟.



شکل۲- نقاط خاص پشت بدن انسان مؤثر در تشکیل انحنای اسکولیوسیس

۲- نیاز به داده های سه بعدی پشت بدن

داشتن مدل سه‌بعدی پشت می‌تواند در زمینه‌هایی چون: فراهم آوردن اطلاعات منحصر بفرد یک فرد در بازه‌های زمانی مختلف جهت اهداف کنترلی بیماری‌های پشت بدن، بدست آوردن یک مرجع برای پشت یک انسان

سالم و برخی اهداف ملزوم دیگر بکار گرفته شود. نگاه به داده‌های سه‌بعدی بـرای پشـت بـدن از دو منظـر مطـرح است: داده‌های کل سطح پشت بدن و داده‌های آناتومیکی پشت بدن که یکسری نقاط خاص روی پشت بدن هستند و عمدتاً تارگت‌گذاری می‌شوند.

طی مشورتی که با متخصصین امر صورت گرفت جهت بیماری اسکولیوسیس، مورد دوم یعنـی یکسـری نقـاط خاص مطرح می باشد که مدلسازی سه بعدی و بررسی روابط طولی بین آنها در وهلـهٔ اول، مـی توانـد بیمـاری را تشخیص داده؛ در مراحل تکراری میزان رشد آن را مشخص کند.

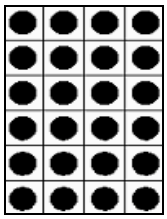
۳- بررسی فتوگرامتری بعنوان یک راه تشخیص اسکولیوسیس

در طراحی یک سیستم فتوگرامتری برای اهداف پزشکی مواردی چون : انتخاب سیستم کسب تصویر، همزمانی سیستم‌های کسب تصویر، آرایش سیستم کسب تصویر و پوشش مـورد نیـاز، کالیبراسـیون سیسـتم کسـب تصـویر، کنترل، آماده‌سازی شئ، نوردهی سیستم و نحوهٔ تبدیل داده‌ها مطرحند. این موارد هیچ کـدام بطـور جداگانـه مطـرح نیستند و ارتباط تنگاتنگ آنها باهم می باشد که شبکه‌ای را راه‌اندازی می‌کند.

سیستم کسب تصویری که برای این منظور انتخاب شد دوربینهای دیجیتال استیل رقومی بود.دوربینهای دیجیتال استیل رقومی از لحاظ شرایط تصویری و داشتن هزینهٔ مناسب و عدم نیاز به فریم‌گرابر، مناسبترین مورد برای انجام این کار بود. البته در همین راستا دیگر دوربینهای موجود در بازار از این دسته بررسی شـد کـه از مـوارد مطـرح در انتخاب دوربین می‌توان داشتن دهانهٔ گشایشی بزرگ برای جمع‌آوری نور بیشتری از محیط برای ایجاد تصویر بهتـر، امکان داشتن تصویر در یک فاصلهٔ کانونی ثابت برای استحکام معرفی مقدار اولیـهٔ فاصـلهٔ اصـلی دوربـین در فایـل کالیبرهٔ دوربین، داشتن لنز شناخته شـده، داشـتن فرمـت تصـویری بـالا را نـام بـرد. پـس از بررسـیهای اولیـه روی دوربینهای مختلف موجود در بازار، دوربینِ المپوس C740 مناسبترین گزینه بود چراکه هـم شـهره بـه داشـتن لنـز خوب با فاصلهٔ کنونی مناسب (٦،٣ تا ٦٣ میلی‌متر) بود و نیز دهانهٔ گشایشی بزرگ، فرمت تصـویری بـالا و امکـان کسب تصویر در یک فاصلهٔ کانونی ثابت، داشت (شکل ۳). لذا کار با دوربین المپوس C740 جهت نیل به دقـت ۱ میلی‌متر (در صورت امکان حتی کمتر) آغاز گردید.

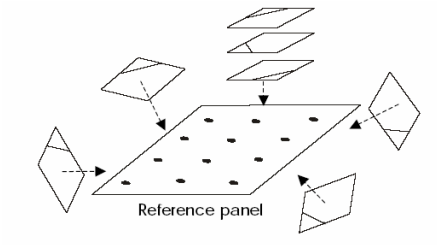
شکل ۳- دوربین المپوس C740

ماکزیمم قدرت تفکیک دوربین المپوس ۲۰٤۸×۱۵۳٦ پیکسل بود و فاصلهٔ کانونی ٦،٣ تا ٦۰ میلـی‌متـر را ارائـه می‌کرد که برای تصویربرداری در این پروژه، فاصلهٔ کانونی ٦،٣ میلی‌متر آن انتخاب شـد. بـرای تسـت دقـت نیـز از تارگتهای ۱ سانتی متری که بخوبی در تصویر دیده می شد (شکل ٤) در فاصلهٔ مدنظر ازبدن (۱۱۰–۱۳۰ سانتی متر) تصویربرداری شد. در این کار از یک شبکه به ابعاد ۸۰×۱۰۰ سانتی متر استفاده گردید.

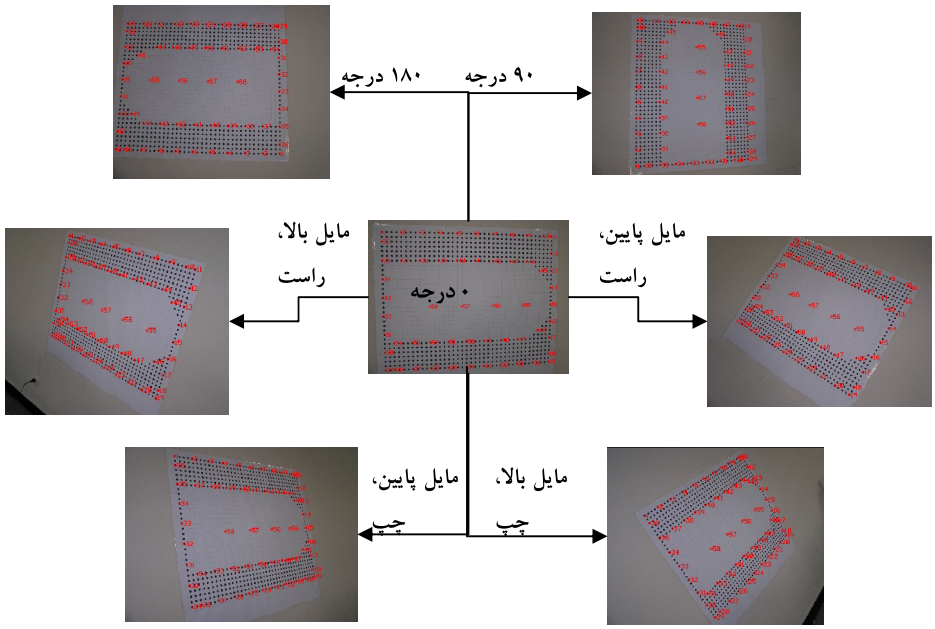


شکل ۴- تارگت با قطر۱ سانتی‌متر

در ابتدا دو دوربین با استفاده از" روش ۷ منظر" که از ۷ وضعیت مختلف محور دوربین ایجاد می شود، کالیبره شدند. طریقهٔ تصویربرداری با این روش در شکل۵ و تصاویر گرفته شده برای یکی از دوربـین هـا در شـکل ٦ نشـان داده شده است.



شکل ۵- کالیبراسیون با هفت تصویر



شکل ۶- تصاویر دوربین المپوس سمت راست از ۷ منظربا دورانهای مختلف محور دوربین

پس از کسب پارامترهای موردنظر برای کالیبراسیون دوربین‌ها، این مقادیر بعنوان مقادیر فایل دوربـین (*.kam) شامل مشخصات دو دوربین، برای تک تک آنها جایگزین شده؛ در پردازش بعدی که مدلسازی سه‌بعدی نقاط خاص

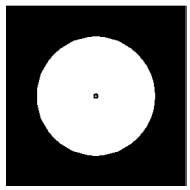
پشت بدن بود، مورد استفاده قرارگرفت. بی‌شک بدین ترتیب در صورت داشتن استحکام هندسی خوب شبکه، معادلات سریعتر همگرا خواهد گردید.

۴- مدلسازی سه‌بعدی نقاط خاص پشت بدن انسان:

بمنظور کشف و شناسایی انحنای اسکولیوسیس ستون فقرات کودک در طول رشد وی بنا بر نظر متخصصین امر، نیاز به دانستن وضعیت چند نقطهٔ خاص از پشت بدن وی -که معرف مهره‌هایی خاص از ستون فقرات او می‌باشند- بود. بدنبال همین هدف، کار مدلسازی نقاط شروع گردید. قبل از بیان پردازشهای لازم، به شرحی از تنظیمات موردنیاز این پروژه پرداخته می‌شود.

۴،۱- آماده‌سازی پوست بدن برای تصویربرداری:

در ابتدا نقاط موردنظر می‌بایست روی بدن مشخص می‌گردید (شکل ۷). مارک کردن نقاط منظوره توسط متخصص مربوطه حول مرکز تارگتها صورت گرفت. اندازهٔ تارگت نیز پس از تست انواع آن در ایجاد شبکهٔ کنترلی برای نقاط پشت بدن، انتخاب شد که با کنتراست بسیار قابل قبولی در محدودهٔ مورد تصویربرداری دیده می‌شد.



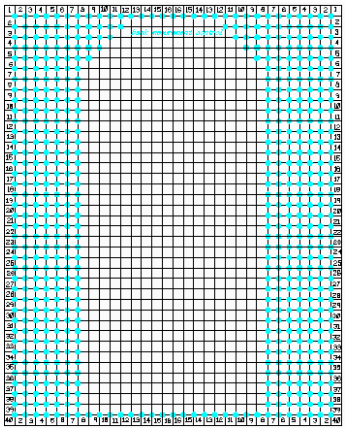
شکل ۷- نمونه‌ای از تارگتهایی که برای علامتگذاری روی بدن کودک و نیز جهت ساخت شبکه سیستم کنترلی استفاده شده است.

۴،۲- سیستم کنترلی کار:

نحوهٔ انتخاب کنترل سیستم بر اساس موارد زیر صورت گرفت:

- با توجه به اینکه نهایتاً کار در یک محیط پزشکی نظیر کلینیک یا یک مطب انجام می‌شد و نیز با توجه به درخواست تنها اطلاعات زاویه‌ای و طولی از نقاط موردنظر؛ لذا سیستم کنترلی برای کار از لحاظ حجم و قابلیت حمل، می‌بایست راحت بوده، ساده بوده کمترین تجهیزات جانبی را دارا باشد
- توزیع تارگتها بر روی آن می‌بایست بسته به بالاترین حجم عرضی کودکان در نظر گرفته شود
- نقاط زیادی را دارا باشد تا عامل برحسب مورد اندازه‌گیری، امکان مانور روی طولهای چک برای مقیاس دهی مدل داشته باشد.

با توجه به مفاد فوق، بهترین گزینه‌ای که می‌توانست خصوصیات مورد نظر را داشته باشد یک شبکه بود که بصورت یک فایل CAD یا دیگر نرم‌افزارهای ترسیمی با دقت بالا طراحی شده؛ تارگتها نیز در تقاطعهای شبکه جز ترسیمات قرار گیرد (شکل ۸).

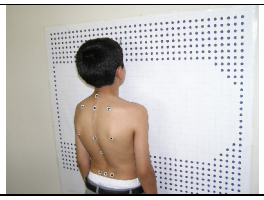


شکل ۸– سیستم کنترلی کار به ابعاد ۰،۸ در ۱ مترمربع

۴،۳– طراحی شبکه:

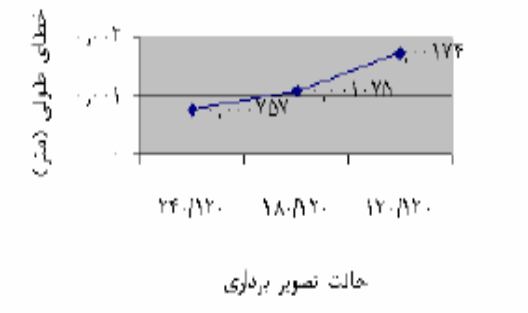
در طراحی شبکهٔ فتوگرامتری از فاکتورهای اساسی در مدلسازیهای عملی مبتنی بر تصویر(Fraser, 2001) دو فاکتورِ تعداد نقاط اندازه‌گیری شده از تصاویر و نسبت B/H (باز تصویربرداری به ارتفاع ایستگاه تصویربرداری) مورد بررسی واقع شد. بسته به ابعاد محدوده، سه B/H برای این کار انتخاب شد که عبارت بودند از: ۲٤۰/۱۲۰ و۱۸۰/۱۲۰ و ۱۲۰/۱۲۰. سپس در هر کدام از آنها تصویربرداری صورت گرفت. بررسی نتایج حاصل برای باندل اجسمنت سادهٔ سه حالت مزبور که از ۱٦ طول مشترک بین سه حالت استفاده شده بود؛ نشان داد که با افزایش B/H دقت بطور محسوسی افزایش یافته است که این مقدار در حالت B/H=۲٤۰/۱۲۰ که زاویهٔ همگرایی محور دوربینها را حول مقدار ۹۰ درجه نشان می‌دهد بیشترین مقدار یعنی ۰،۷۵ میلی‌متر می‌باشد (جدول ۱ تصاویر اخذ شدهٔ این حالت را نشان می دهد) و در حالت B/H=۱۲۰/۱۲۰ که زاویهٔ همگرایی محور دوربینها حدود ۵۵ درجه است کمترین دقت یعنی ۱،۷۳ میلی‌متر را دارا می‌باشد.

جدول ۱– تصاویر همگرای اخذ شده در B/H=240/120 توسط دو دوربین المپوس

حالت B/H	تصویر سمت راست	تصویر سمت چپ
۲۴۰/۱۲۰		

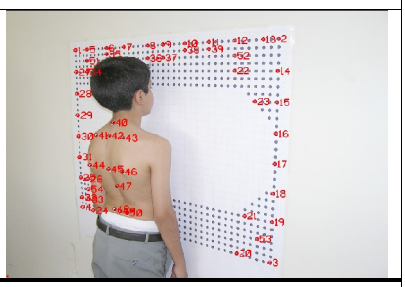
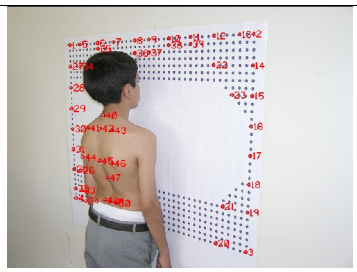
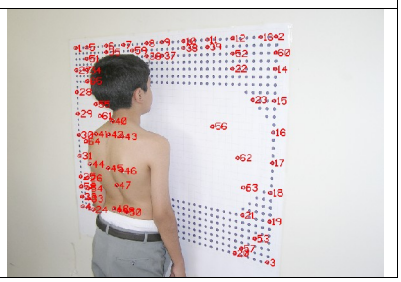
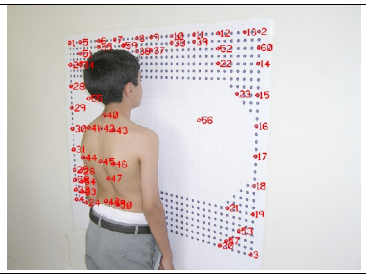
مورد دومی که بررسی شد میزان تغییر دقت طولی با تعداد نقاط اندازه‌گیری شده در تصاویر بود. برای این بررسی بهترین حالت از بین حالات موردنظر بررسی اول، ملاک قرار داده شد و افزایش نقاط اندازه‌گیری شده روی آن در ٤ حالت بترتیب با ۵۰، ٥٤، ٦۰ و ٦۵ نقطه مورد بررسی قرار گرفت(جدول ۲). نتیجه نشان داد که با افزایش

اولیه یعنی ٤ نقطه دقت به اندازهٔ ۰،۰۱۸ میلی‌متر بالا می‌رود (نمودار ۱). اما پس از این، با افزایش نقاط دقت در حد ۰،۰۰۷ میلی‌متر جابجا می‌شود که مقدار مهمی نیست و دقت تقریباً دیگر ثابت می‌ماند.



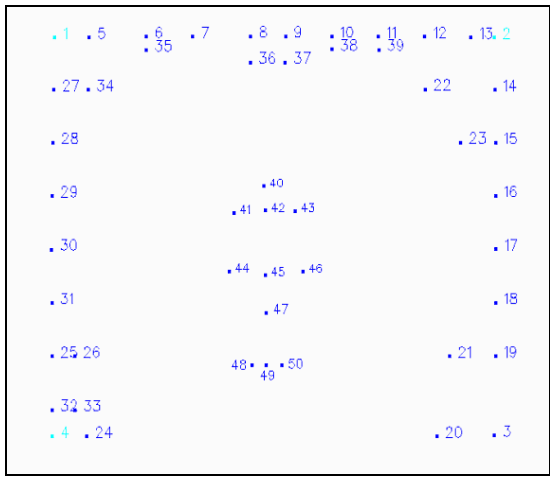
نمودار ۱- تغییر دقت طولی با افزایش نسبت باز به ارتفاع

جدول ۲- تصاویر المپوس حالت B/H=۲۴۰/۱۲۰ با ۴ حالت تغییر تعداد نقاط اندازه‌گیری

۵۴ نقطه	۵۰ نقطه
	
۶۵ نقطه	۶۰ نقطه
	

۴،۴- محصول نهایی کار:

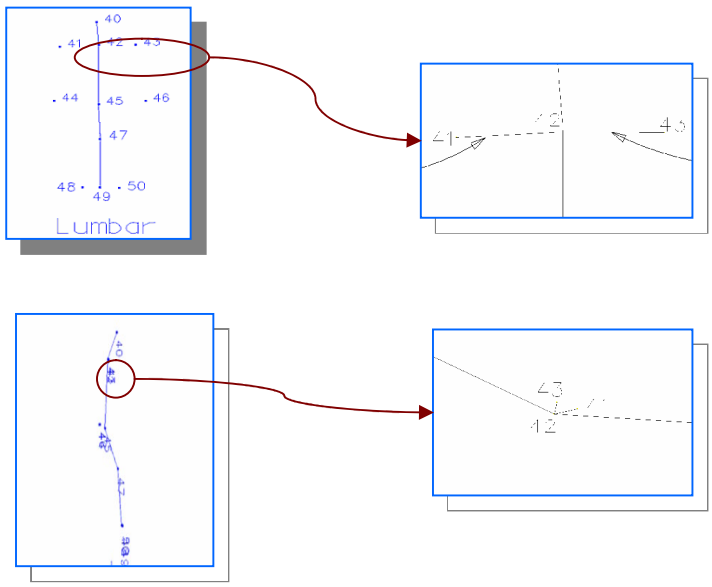
پس از ارزیابی حالتهای مختلف که در بخش پیشین بحث شدند، حالت ۲٤۰/۱۲۰ با ۵۰ نقطه بعنوان وضعیت بهینه برای مدلسازی پشت بدن با رسیدن به دقت موردنظر انتخاب شد. کلیهٔ پردازشهای لازم توسط نرم افزار فیدیاس ۲،۵ انجام گردید. در شکل ۹ داده های سه‌بعدی حاصل از حالت B/H= ۲٤۰/۱۲۰ با ۵۰ نقطه، دیده می‌شود.



شکل ۹– داده های سه بعدی حاصل از حالت B/H=۲۴۰/۱۲۰ با ۵۰ نقطه

از این داده های سه بعدی بهره گیری های گوناگونی می شود.

الف– بررسی کیفی انحنای اسکولیوسیس: تشخیص این امر که بصورت بصری فردی اسکولیوسیس دارد یا نه. وصل کردن مهره‌های فقراتی وسطی توسط ابزار خط کشی میکرواستیشن کمک شایانی به بررسی بهتر این مطلب می کند (شکل ۱۰).



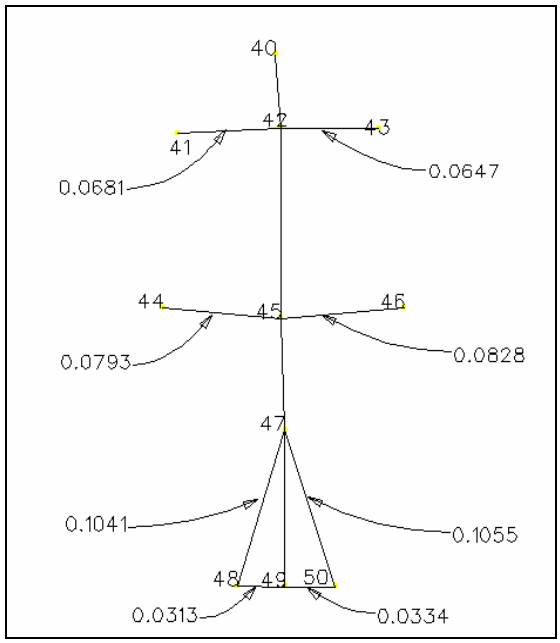
شکل ۱۰– تفسیر بصری انحنای اسکولیوسیس با بهره‌گیری از دید جلو و پهلو

برای بررسی در یک راستا بودن نقاط جانبی

ب- بررسی کمّی انحنای اسکولیوسیس:

با توجه به اینکه این مدل داده های سه بعدی مقیاس دهی شده است؛ لذا می‌توان برای کشف این بیماری این بـار از اندازه‌های طولی برای این کار بهره جست. بدین‌ترتیب که در منظر از جلو، فواصل بین نقاط جـانبی چـپ و راسـت تا مهره‌های وسط را اندازه گرفت. به لحاظ اصولی و منطقی می‌بایست برای یـک رشـد سـالم سـتون فقـرات، ایـن فواصل با هم برابر باشند. تعدادی از این اندازه‌گیری‌ها روی مدل این کودک انجام گرفت که نتیجه در شکل ۱۱ آمده است.

ج- ثبت و نگهداری مشخصات مربوط به یک فرد (از طولها و زوایای بین این نقاط) برای امور کنترل وضعیت رشد او بصورت ایجاد یک پایگاه داده‌ای برای افراد



شکل ۱۱- اندازه‌گیری فواصل روی داده های سه بعدی برای بررسی کمّی اسکولیوسیس

۵-بحث و نتیجه گیری، ارائهٔ پیشنهادات و توسعه‌های آتی:

در این مقاله به شرح روند کاری یک سیستم فتوگرامتری برد کوتاه برای هدف تشـخیص بیمـاری پشـت بـدن بنـام اسکولیوسیس پرداخته شد. اسکولیوسیس یک انحنای غیرنرمال فقراتی می‌باشد که پیچ پهلو به پهلو دارد. ایـن انحنـا در طول رشد اسکلت بدن از همان دوران کودکی ظاهر می‌شود. لذا بررسی وضـعیت سـتون فقـرات افـراد در بـازهٔ زمانی رشدشان می‌تواند ضمن اطلاع از روند رشد صحیح او، میزان رشد نامتعادل او (در صورت وجـود) در همـان اوان تغییر را مشخص کرده؛ با استفاده از روشهای سادهٔ پیشگیری به کنترل و جلوگیری از آن بپردازد. سیسـتمی کـه در این مقاله برای مدلسازی نقاط خاص پشت بدن جهت تشخیص انحنای اسکولیوسیس در افراد – بطور خاص در کودکان- طراحی شد شامل نیروی انسانی و تجهیزاتی از این قرار بود: دو دوربینِ دیجیتال المپـوس C740 بـا دقـت

همزمان‌سازی ثانیه‌ای برای اغماض از حرکت پشت بدن، یک شبکه به ابعاد ۱×۰،۸ مترمربع بعنوان سیستم طولهای کنترل، تعدادی تارگت با قطر یک سانتی‌متر، نرم‌افزار میکرواستیشن ۸،۱ همراه با ماژول فیدیاس جهت مدلسازی سه‌بعدی، یک متخصص ستون فقرات جهت تارگت‌گذاری روی نقاط خاص منظوره و یک فتوگرامتریست جهت انجام پردازش‌ها.

توسعه های آتی چنین مجموعه ای در زمینهٔ فتوگرامتری می تواند مواردی چون: بکارگیری یک دوربین اضافی که می‌تواند استحکام هندسی شبکهٔ فتوگرامتری را بالا برده در کشف خطاها کمک فراوانی در حل معادلات بکند؛ تغییر فاکتورهای مطرح در راستای مدلسازی تصویر پایه؛ استفاده از دوربینهای با کیفیت بالاتر؛ ایجاد تمهیداتی در بخش آماده‌سازی بدن همچون استفاده از یک رستر نوری جهت تفسیر بیشتری از سطح بدن همراه با استفاده از تارگتهای کددار جهت سهولت بخشی به فرایند تناظریابی در تصاویر؛ استفاده از دوربینهای ویدئویی فریم کاملِ همزمان‌سازی شده با قدرت همزمانی بسیار بالای ۱/۳۰ ثانیه را، بپوشاند. در زمینهٔ پزشکی نیز به کنترل مداوم و کلی وضعیت بیماری، بکارگیری سیستم دردبستانها برای امر کنترل رشد ستون فقرات کودکان و تولید یک آرشیو دیجیتال کامل از تصاویر بدست آمده و مدلهای سه‌بعدی تولید شده برای هر بیمار، می توان اشاره نمود. همچنین دیگر داده‌های جدولی می‌تواند در یک فایل پایگاه داده‌ای عمومی مدیریت شود و نتایج آماری مهم از داده‌های مدل سه‌بعدی بدست آید.

مراجع:

Tsioukas, V.,Sechidis, L.,Patias,P.,2000.”An automated process for the extraction of the 3D model of the human Back Surface for scoliosis treatment”,IAPRS, vol(XXXIII), Amsterdam

Atkinson,K.B.,1996,” Close Range Photogrammetry and Machine Vision”. Department of Photogrammetry and surveying, University College London, whittles publishing, pp: 303-328

El-Hakim,F., Angelo Beraldin,J.,Blais, F.,2003, “Critical Factors and Configurations for Practical Image-Based 3D Modeling”, 6th conference Optical 3D Measurement Techniques, vol(II), pp:159-167