Archive of SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز تحقیقات و اطلاعات علمی ایران

www.SID.ir

سنجش حجم مواد لایروبی

مسعود شریفی[۱] *

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۳/۱۳ * نویسنده مسئول تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۷/۱۶

© نشریه صنعت حمل و نقل دریایی ۱۳۹۴، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه صنعت حمل و نقل دریایی است.

چکیده

هرساله در بنادر ایران مبالغ قابل توجهی صرف هزینه‌های لایروبی می‌شود. ارزیابی صحیح حجم مواد لایروبی شده و حصول اطمینان از این موضوع که لایروبی در محل مورد نظر انجام شده است اهمیت دارد. این مقاله در پی ارائه روشی برای ارزیابی حجم مواد لایروبی شده است که دارای شرایط زیر باشد: (۱) از پشتوانه نظری قابل قبولی برخوردار باشد، (۲) توسط مجری، ناظر و کارفرما به صورت مستقل قابل اجرا باشد، (۳) قابل تکرار باشد به نحوی که در صورت بروز اختلاف بین مجری و ناظر، توسط مرجع ثالث انجام پذیر باشد، (۴) بتوان آن را به‌عنوان روش واحد در سازمان بنادر و دریانوردی و کلیه بنادر معرفی کرد، (۵) بتوان از آن برای تخمین دقیق حجم عملیات قبل از انجام لایروبی استفاده کرد و (۶) از فناوری‌های موجود استفاده شود و اجرای آن هزینه زیادی تحمیل ننماید.

ایده اصلی این مقاله ارائه روشی برای پردازش داده‌های آبنگاری به منظور برآورد حجم عملیات قبل از لایروبی و احتمالاً درج آن در (RFP) و سپس اندازه‌گیری آن در هنگام انجام عملیات و یا پس از انجام آن است. برای این موضوع با استفاده از مثلث‌بندی دلانی سه سطح ریاضی بستر اولیه، سطح شبیه‌سازی شده و بستر لایروبی شده، تشکیل شده و از اختلاف بستر اولیه و سطح شبیه‌سازی شده برآورد حجم عملیات و از اختلاف بستر اولیه و بستر لایروبی شده، حجم عملیات انجام شده به‌دست آمده است.

واژه‌های کلیدی: لایروبی، سنجش حجم، آبنگاری، مثلث‌بندی دلانی

۱. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، رئیس اداره آمار، sharifi.masoud@hotmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

صنعت حمل‌ونقل دریایی ارزان‌ترین راه جابه‌جایی میلیون‌ها تن کالاست و یکی از فعالیت‌های لازم برای تداوم این فعالیت و نیز حفظ ایمنی تردد شناورها انجام عملیات لایروبی است. به طور کلی لایروبی یعنی تغییر عمدی بستر دریاها و رودخانه‌ها، یا برای احداث تأسیسات جدید است و یا برای نگهداری و توسعه آبراه‌ها و حوضچه‌هاست که به صورت دوره‌ای انجام می‌شود. اما یکی از مهم‌ترین پیش اقدام‌های لایروبی انجام آبنگاری است و بنا بر تعریف ویکی‌پدیا "آبنگاری شاخه‌ای از علوم نقشه‌برداری است که پیرامون تهیه نقشه و داده‌های مکانی ژرفای آب بحث می‌کند." البته ویکی‌پدیا مرجع علمی نیست و ممکن است تعریف فوق مورد نقد اساتید فن باشد اما مفهوم آن برای رساندن منظور این مقاله کفایت می‌کند. پیشرفت فناوری به‌ویژه در حوزه تجهیزات ژرفاسنجی و ترکیب آن با موقعیت‌یاب‌های ماهواره‌ای[1] و سیستم‌های رایانه‌ای موجب شده تا جمع‌آوری و نگهداری داده‌های دقیق و حجیم با سرعت و سهولت ممکن شود. ایده اصلی این مقاله ارائه روشی برای پردازش داده‌های آبنگاری به منظور برآورد دقیق حجم عملیات قبل از لایروبی و احتمالاً درج آن در (RFP) و سپس اندازه‌گیری آن در هنگام انجام عملیات و یا پس از انجام آن است. برای توضیح موضوع ابتدا معرفی مختصری از مثلث‌بندی دلانی و دوگان آن یعنی دیاگرام ورونوی و بعضی کاربردهای آنها به عمل آمده و سپس با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده گردش‌کار کامل روش پیشنهادی با جزئیات کافی توصیف شده است.

در انجام محاسبه و تهیه شکل‌های این مقاله از نرم‌افزار اتوکد به‌عنوان نرم‌افزار اصلی و از نرم‌افزارهای دیگر نیز به صورت کمکی استفاده شده که در جای خود به آنها اشاره خواهد شد. به علاوه هرجا که لازم شده است، برای مثال در رنگ‌آمیزی سطح متناسب با عمق، قطعه نرم‌افزار مورد نیاز توسط نگارنده طراحی و پیاده‌سازی و در پانوشت متن به اختصار با نشانه (ن.ت.ن) به معنی نرم‌افزار توسط نگارنده مشخص شده است. زبان برنامه‌نویسی همه این نرم‌افزارها اتولیسپ[2] است به‌جز یک مورد که در سی‌پلاس[3] انجام شده است. همچنین به نرم‌افزارها به صورت یک کل اشاره شده است. به‌عنوان مثال در محاسبه خط تقاطع دو صفحه، توابع متعددی نظیر محاسبه حاصل‌ضرب برداری نیز ایجاد شده‌اند که به منظور جلوگیری از طولانی‌شدن متن به آنها اشاره‌ای نشده است.

۱-۲- پیشینه تحقیق

آنچه در بازار جهانی در دسترس است را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود، یک گروه شرکت‌هایی هستند که ترکیبی از سخت‌افزارهای آبنگاری و نرم‌افزارهای مربوط به آن را در یک مجموعه سازگار ارائه می‌نمایند. گروه دیگر شرکت‌هایی هستند که تجهیزات را برای لایروبی تنظیم و به هم متصل کرده‌اند و گروه سوم عرضه‌کننده نرم‌افزار هستند. کارهای دانشگاهی که به تئوری‌ها و به ویژه آنالیز خطا یا آلگوریتم‌ها و افزایش سرعت محاسبات و مانند آن می‌پردازند نیز قابل بررسی و مطالعه هستند. اما برای این تحقیق گروه سوم دارای اهمیت بیشتری است. زیرا به طور معمول با خرید تجهیزات لایروبی ویا آبنگاری نرم‌افزارهای مرتبط با آنها نیز به خریدار تحویل می‌شود. اما یکی از اهداف این پژوهش ارائه روشی است که برمبنای آن بتوان رویه واحدی را در سازمان بنادر و دریانوردی معرفی نمود و لذا نباید به نرم‌افزار مربوط به تجهیزات خاص آبنگاری و لایروبی وابستگی ایجاد شود.

AutoDesk Land Development Desktop:کامل‌ترین نرم‌افزاری است که در این زمینه وجود دارد و در نسخه ۲۰۱۳ در مجموعه Autocad Civil 3D 2013 ادغام شده و قیمت آن با توجه به انتخاب‌های ممکن بین ۶۸۰۰ تا ۱۲۰۰۰ دلار است. این نرم‌افزار توانایی‌های فوق‌العاده‌ای دارد و از آن می‌توان برای محاسبات و پردازش داده‌های نقشه‌برداری (آبنگاری) و انجام محاسبات مربوط به نیم‌رخ طولی و عرضی راهها و برآورد حجم عملیات خاکبرداری و خاکریزی استفاده کرد اما پیچیدگی‌های خاص خود را نیز دارد و در امکان ایجاد دسترسی محدود به داده‌ها مناسب نیست همچنین منحنی یادگیری آن طولانی است و بیشتر برای شرکت‌های تخصصی کاربرد دارد، نسخه قفل شکسته آن در ایران توسط بعضی از شرکت‌ها استفاده می‌شود.

SDRMAP: نرم‌افزار دیگری است که بین شرکت‌های نقشه‌برداری عمومیت و محبوبیت دارد. از این نرم‌افزار برای تبدیل داده‌های دوربین‌های نقشه‌برداری به نقشه‌های منحنی‌های تراز و توپوگرافی (بر مبنای مثلث‌بندی دلانی) به‌طور وسیعی استفاده می‌شود. نسخه ۸,۲ آن که به صورت قفل شکسته در ایران در دسترس است توسط نرم‌افزارهای ضد ویروس قابل تهدید ارزیابی شده است و نسخه اجرایی آن حذف می‌شود که برای جلوگیری از حذف آن باید نرم‌افزار ضد ویروس را غیرفعال کرد اما به هیچ وجه توصیه نمی‌شود. نسخه‌های قدیمی‌تر و تحت داس[4] آن نیز اگرچه در دسترس است اما کاربری آنها چندان راحت نیست و فقط مورد استفاده بعضی شرکت‌های حرفه‌ای نقشه‌برداری است.

ArcGIS for Maritime: این یک نرم‌افزار مستقل نیست بلکه یک گسترش[5] برای ArcGIS است که بیشتر به کار بصری‌سازی[6] داده‌های آبنگاری می‌خورد این نرم‌افزار برای کار با شبکه‌های منظم بهینه‌سازی شده و به‌ویژه توانایی کار با حجم بالای داده‌ها را دارد.

Dtmsoftware: خود را راه جدیدی برای ارائه داده‌های آبنگاری منطبق با استانداردها دریایی و مهندسی معرفی می‌نماید. این نرم‌افزار برای پردازش داده‌های آبنگاری ساحلی و دریای عمیق مناسب است و قابلیت ایجاد اطلاعات با فرمت مناسب اتوکدرا نیز دارد.

PDS2000 Hydrography, Dredging: نرم‌افزاری برای پردازش و بصری‌سازی داده‌های آبنگاری و لایروبی به‌ویژه در حین عملیات است و امکانات اختصاصی برای ۸ نوع لایروب از جمله لایروب‌های کاتر و هاپر را دارد. این نرم‌افزار امکان نظارت بر داده‌های عملیاتی را از طریق اینترنت و از روی لایروب فراهم می‌سازد و قابلیت محاسبه حجم عملیات را نیز داراست.

HYDROpro™ Construction: یک بسته نرم‌افزاری است که برای پردازش داده‌های ساخت‌وساز دریایی و آبراه‌ها که نیاز به موقعیت یابی دقیق دارند ارائه شده است. این نرم‌افزار گسترشی برای نرم‌افزار اصلی شرکت به نام HYDROpro است که مختص آبنگاری طراحی

1. GPS
2. AutoLisp
3. C#

4. Dos
5. Extention
6. Visualization

Archive of SID
www.SID.ir

شده است و تأکید آن بر موقعیت‌یابی دقیق می باشد و امکانات سایر نرم‌افزارهای آبنگاری را نیز دارد.

Tower Software: این شرکت عرضه کننده نرم‌افزارهای سفارشی برای صنعت آبنگاری است به علاوه به تامین سخت‌افزارهای مورد نیاز (GPS، اکوساندر، رایانه، جزرومد سنج‌ها) به‌عنوان یک راهکار جامع نیز می‌پردازد. و ارائه دهنده راهکارهای انواع سیستم‌های کامل برای انواع لایروب‌ها نیز هست.

SEA SwathPlus: برای جمع‌آوری و پردازش داده‌های آبنگاری طراحی شده است و به‌صورت هم‌زمان امکان ترکیب داده‌های مربوط به جذرومد، سرعت صوت و فیلترهایی برای حذف داده‌های نامعتبر را داراست و در تعامل با نرم‌افزار دیگری امکان تشکیل شبکه منظم برای داده‌ها را ارائه می‌دهد.

CARIS Ports and Waterways: نرم‌افزاری برای مدیریت حجم زیاد داده‌ها است و علاوه بر امکانات سایر نرم‌افزارهای پردازش داده‌های آبنگاری، ماژول مهندسی آن امکان شبیه‌سازی سطح برای کارهای ساخت‌وساز و لایروبی را فراهم می‌سازد.

HYPACK: یکی از بسته‌های نرم‌افزاری معروف است که در ایران هم از آن استفاده می‌شود این نرم‌افزار علاوه بر جمع‌آوری داده‌ها امکان اعمال اصلاحات مربوط به اکوساندرها و حذف داده‌های نامعتبر را دارد و می‌توان آن‌را به طیف وسیعی از سخت‌افزارها متصل نمود. همچنین قابلیت ایجاد اطلاعات با فرمت مناسب اتوکد را نیز دارد.

نرم‌افزارهای فوق بخش کوچکی از نرم‌افزاهای قابل مطالعه از طریق اینترنت هستند که همگی تحت لیسانس و به‌عنوان یک بسته‌نرم‌افزاری به فروش می‌رسند. بعضی از آنها به‌صورت اختصاصی و برای انجام عملیات آبنگاری و لایروبی طراحی شده‌اند و برخی نرم‌افزارهای عمومی هستند که در این حوزه می‌توان از آنها استفاده نمود اما هیچ‌یک پاسخ‌گوی نیازهای مسئولین بندرنمی‌باشند و البته دانش فنی این‌کار را با اهدافی که این مقاله پژوهشی دنبال می‌نماید ارائه نمی‌دهند.

۲- روش تحقیق و تجزیه و تحلیل داده‌ها

ایده اصلی روش پیشنهادی ساده و مستقیم است. اگر بتوان اختلاف بستر دست نخورده (سطح اولیه) و بستر لایروبی شده را محاسبه کرد می‌توان حجم عملیات را به‌دست آورد. برای برآورد هم می‌توان بستر مورد نظر را شبیه‌سازی نمود. لذا سه سطح مورد نیاز است و بنابراین فرایند پیشنهادی به ترتیب شامل گام‌های: (۱) آبنگاری قبل از لایروبی، (۲) تشکیل سطح ریاضی منحصر به فرد براساس نقاط برداشت شده شامل تصحیح داده‌ها، تبدیل دستگاه مختصات و تشکیل سطح اولیه)، (۳) شبیه‌سازی سطح نهایی مورد انتظار، (۴) محاسبه و برآورد حجم عملیات (سطح شبیه‌سازی شده)، (۵) انجام عملیات لایروبی و آبنگاری پس از لایروبی، (۶) تشکیل سطح ریاضی منحصر به فرد براساس نقاط جدید برداشت شده (سطح لایروبی شده) و (۷) محاسبه حجم ناشی از عملیات لایروبی.

۲-۱- آبنگاری قبل از لایروبی

تجهیزات مدرن آبنگاری تجهیزاتی قابل حمل، توان مصرفی کم، دقت بالا و مقاوم در مقابل شرایط بد آب‌وهوایی هستند. این تجهیزات در بهترین حالت دقتی در حد چند سانتی‌متر تا عمق حداکثر ۸۰۰ متر و در حالت عادی دقتی در حدود سی‌متر را ارائه می‌دهند و مخصوص نواحی ساحلی طراحی شده‌اند. قابلیت اتصال به GPS و استفاده از امکانات DGPS در خلیج فارس اجازه می‌دهد داده‌های مربوط به تاریخ، زمان، سمت حرکت و طول و عرض جغرافیایی نیز به دقت و هم‌زمان با داده‌های عمق به صورت الکترونیکی ثبت شوند. قابلیت‌های کلیدی برای استفاده در روش پیشنهادی در این مقاله عبارتند از ثبت تاریخ، زمان، طول و عرض جغرافیایی و عمق که اگر سیگنال‌های DGPS در دسترس نباشد باید حداقل سه نقطه انگپایه[1] را نیز برای تطبیق و رجوع بعدی ثبت و از تصحیح مربوط به ژیروسکوپ نیز استفاده نمود. همچنین لازم است خارج از محدوده لایروبی اما در همسایگی آن، سطح دیگری نیز آبنگاری شود تا در مراحل بعدی از آن به‌عنوان سطح مرجع برای برآورد خطای ناشی از تجهیزات ژرفاسنجی استفاده شود.

۲-۲- تشکیل سطح ریاضی منحصر به فرد براساس نقاط برداشت شده (سطح اولیه)

۲-۲-۱- تصحیح داده‌ها

داده‌های آبنگاری را می‌توان به دو دسته داده‌های مکانی و داده‌های مربوط به عمق تفکیک نمود. داده‌های مکانی در صورتی‌که با استفاده از امکانات DGPS تهیه شده باشند از دقت کافی برخوردار هستند و نیازی به پردازش اضافی ندارند اما در صورتی‌که سیگنال‌های DGPS در دسترس نباشد باید از نقاط انگپایه کمک گرفت و اصلاح‌های مربوط به داده‌های مکانی را با استفاده از آنها و به صورت نیمه دستی انجام داد. داده‌های مربوط به عمق را به طور قطع باید پردازش نمود. فرایند پردازش داده‌ها چهار بخش دارد ابتدا باید عمق در مقایسه با جزرومدسنج[2] تصحیح شود سپس لازم است کیفیت و سازگاری داده‌ها ارزیابی و داده‌های دور از انتظار و ناشی از خطای فاحش دستگاه‌های عمق‌سنج از مجموعه داده‌ها حذف شوند و در مرحله بعد داده‌های مربوط به خط ساحلی یا عوارض مصنوعی نظیر موج‌شکن در مجموعه داده‌ها ادغام و مرز ناحیه مورد بررسی مشخص می‌شود و در آخرین مرحله و در صورت نیاز الگوریتم درون‌یابی انتخاب خواهد شد که برای آن هم روش‌های ارزیابی خطا وجود دارد.

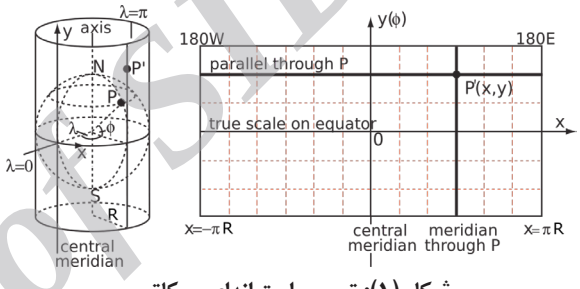
مبنای ارزیابی خطای درون‌یابی بر تقسیم داده‌های عمق‌یابی به دو بخش، تصادفی است که از یکی برای درون‌یابی و از دیگری برای ارزیابی خطا استفاده می‌شود و جزئیات آن خارج از موضوع این مقاله است اما توجه به این نکته ضروری است که درون‌یابی سطح و تشکیل شبکه منظم از یک‌سو موجب کاهش نوسان‌های آماری مربوط به خطای دستگاه‌های عمق‌یاب و از سوی دیگر موجب پنهان شدن جزئیات سطح خواهد شد و در کاربردهای واقعی استفاده از آن منوط به نظر کارشناسی است و باید با آگاهی به‌کار برده شود. در مجموع آبنگاری یک موضوع تخصصی است و در این مقاله به آن پرداخته نمی‌شود و البته در تخصص نگارنده هم نیست اما به طور کلی نیاز است تا مجموعه‌ای از داده‌های سازگار و ارزیابی شده مبنای محاسبات بعدی قرار گیرند.

1. Benchmark
2. Tide Gauge

Archive of SID
www.SID.ir

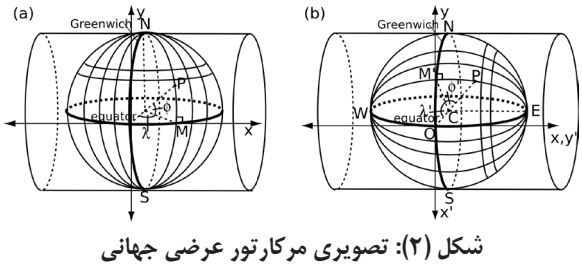
۲-۲-۲- تبدیل دستگاه مختصات

در این بخش ابتدا باید طول و عرض جغرافیایی ثبت شده را به یکی از روش‌های مرسوم از مختصات کروی به مختصات سه بعدی کارتزین که محاسبات در آن انجام می‌شود تبدیل نمود. زمین، تقریباً بیضوی[1] و با تقریب بزرگتری کروی است اما سطح بیضوی یا کره یک شکل قابل گسترش نیست و تبدیل آن به یک سطح همواره، بدون بریدگی و کشیدگی بخش‌هایی از آن امکان ندارد. لذا لازم است، یکی از سیستم‌های تصویر که روش تصویر یک نقطه از سطح بیضوی یا کروی به روی یک سطح مستوی قابل تبدیل به یک سطح مسطح مانند استوانه یا مخروط است استفاده شود. از انواع مدل‌های تصویری، نقشه مرکاتور استوانه‌ای بسیار مرسوم است. در این نقشه شکل هندسی خطوط و چند ضلعی حفظ می‌شود و بنابراین برای مقاصد عمومی به ویژه جهت‌یابی مناسب و کارآمد است زیرا مطابق شکل (۱) طول‌ها و عرض‌های جغرافیایی به خطوط مستقیم تبدیل شده است و یکدیگر را در زاویه‌های راست قطع می‌کنند.



شکل (۱): تصویر استوانه‌ای مرکاتور

انحراف تصویر استوانه‌ای مرکاتور با افزایش فاصله از خط استوا بیشتر شده است و در عرض‌های شمالی و جنوبی بسیار زیاد و غیر قابل استفاده است و فرمول‌های آن برای عرض‌های بیش از ۸۵/۰۵ تعریف نشده‌اند و در عمل نیز نقشه‌ها برای عرض‌های بیش از ۸۴ تهیه نمی‌شوند. و عرض‌های بالاتر با استفاده از سیستم تصویری مخروطی تهیه می‌شوند که موضوع آن خارج از حیطه این مقاله است. سیستم تصویری مرکارتور عرضی جهانی یا UTM[2] مناسب‌ترین نوع برای کارهای محاسباتی است از این سیستم برای تهیه نقشه های ۸۴ درجه شمالی تا ۸۰ درجه جنوبی استفاده می‌شود و در آن خط استوا به ۶۰ بخش ۶ درجه‌ای تقسیم شده و با هر چرخش کره در داخل استوانه و مماس شدن آن با یک نصف النهار، یک برش تهیه می‌شود.



شکل (۲): تصویری مرکارتور عرضی جهانی

باید توجه داشت که مماس بر استوانه اگر در نقطه نصف‌النهار باشد استوانه به طور کامل در خارج از کره و اگر مماس بر مرزهای برش ۶ درجه‌ای باشد، در داخل کره قرار می‌گیرد. در عمل این نقطه به گونه‌ای بینابین انتخاب می‌شود تا نقشه حاصل نه تنها برای تعیین موقعیت جغرافیایی مناسب باشد بلکه فاصله اندازه‌گیری شده بر روی نقشه نیز تا حد ممکن نزدیک با فاصله واقعی روی زمین را به دست دهد. با این روش در مجموع برای پوشش کل زمین ۶۰ برش ۶ درجه‌ای وجود دارد که هر برش نیز از نظر عرضی به قطعات ۸ درجه‌ای تقسیم و با حروف لاتین *C* تا *X* (به جز *I* و *O*) از جنوب به شمال نام‌گذاری شده است. با این تفسیر کره زمین به ۱۲۰۰ ناحیه تقسیم شده است که هر یک از آن نواحی را یک ناحیه یا منطقه شبکه‌بندی[3] می‌نامند. هر ناحیه شبکه‌بندی شده با یک عدد و یک حرف لاتین آدرس داده می‌شود و اندازه آن ۶ در ۸ درجه (در حدود ۶۰۰ تا ۹۰۰ کیلومتر) است که به دلیل کوچک مقیاس بودن نواحی شبکه‌بندی، مجدداً به مربع‌های ۱۰۰ کیلومتری تقسیم شده‌اند. کشور ایران در ناحیه‌های ۳۸ تا ۴۱ و حروف R,S قرار دارد. برای تبدیل مختصات ژئودتیک به مختصات UTM نرم‌افزارهای مختلفی وجود دارند که از نمونه تعاملی آن در یکی از وب‌گاه‌های اینترنتی برای تبدیل مختصات ژئودتیک ساختمان مرکزی سازمان بنادر به مختصات UTM به شرح زیر استفاده شده است.

یک نمونه قدیمی‌تر که قابلیت کار روی فایل‌ها را نیز دارد (همراه با کد منبع آن) در وب‌گاه درج شده در زیرنویس[4] در دسترس است.

بنابراین طول و عرض جغرافیایی داده‌های به‌دست‌آمده به مختصات UTM تبدیل و همراه با عمق هر نقطه مبنای محاسبات مراحل بعدی قرار می‌گیرد.

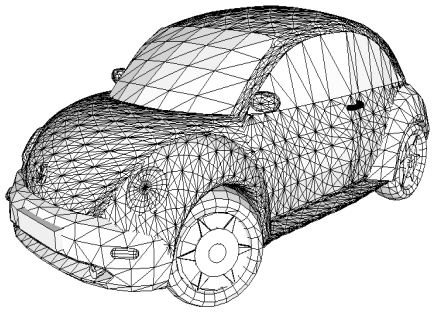
۲-۲-۳- تشکیل سطح

هنگامی‌که داده‌های مربوط به یک سطح سه بعدی نمونه‌برداری شده باشند برای برآورد ارتفاع یک نقطه که نمونه برداری نشده از روش‌های مختلف درون‌یابی استفاده می‌شود. این روش‌ها همگی از ارتفاع نقاط نمونه‌برداری شده در همسایگی نقطه مورد نظر استفاده کرده و با الگوریتم‌های متفاوت از جمله همسایگی پیوسته، سطوح درجه دوم و چندجمله‌ای، Spline و بالاخره تقسیم ناحیه‌ها به مثلث‌های مجاور هم براساس مثلث‌بندی دلانی استفاده می‌کنند. چنین درون‌یابی‌هایی، کاربردهای متعددی دارد. به‌عنوان مثال می‌توان به این موارد اشاره کرد: (۱) مدل‌سازی زمین، که در آن نمونه ارتفاع از نقشه‌برداری به‌دست آمده، (۲) هواشناسی، که در آن داده‌ها از ایستگاه‌های هواشناسی جمع آوری شده، (۳) برنامه‌ریزی منطقه‌ای با استفاده از ایستگاه‌های جمع‌آوری داده‌ها (ایستگاه‌های کنترل کیفیت هوا) و (۴) تشکیل شبکه داده‌ها[5] برای استفاده در تجزیه‌وتحلیل عنصر محدود[6] . مثلث‌بندی دلانی برای ابعاد بالاتر از ۳ هم، تعریف شده و کاربردهایی نیز دارد از سوی دیگر یکی از بهترین روش‌های مدل‌سازی سطوح پیچیده نیز هست که در آن سطوح خمیده به وسیله سطوح به نسبت کوچک مسطح تقریب می‌شوند. این روش در مهندسی و نیز گرافیک کامپیوتری به صورت گسترده‌ای رواج دارد.

1. Ellipsoid
2. Universal Transverse Mercator

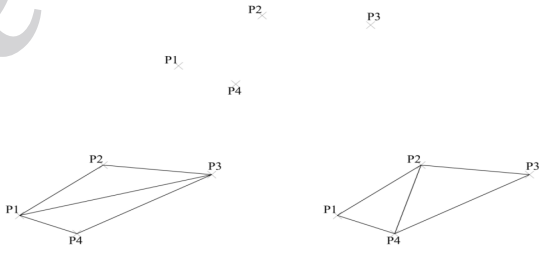
3. Zone
4. http://www.ngs.noaa.gov/TOOLS/program_descriptions.html#XYZ
http://www.ngs.noaa.gov/PC_PROD/UTMS/
5. Mesh
6. Finite Element Analysis

Archive of SID
www.SID.ir



شکل (۳): نمونه مدل‌سازی سطوح پیچیده

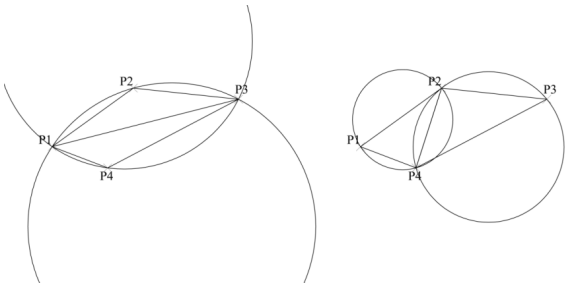
در مدل‌سازی عوارض سطح زمین و به نحو مشابه کف دریا هم از این روش استفاده می‌شود و به خصوص چون از نقاط با x، y یکسان و z متفاوت (دیواره‌ها) اجتناب می‌شود این مدل‌سازی به مدل‌سازی ۲/۵ بعدی نیز معروف است. در چنین حالتی می‌توان مثلث‌بندی را روی پلان نقاط به‌دست آورد و سپس با توجه به عمق نقاط مثلث‌های سه بعدی را تشکیل داد. در دریا شرایط محیطی اجازه ثبت نقاط به صورت منظم را نمی‌دهد و نقاط ثبت شده را باید در گروه نقاط نامنظم[1] طبقه‌بندی نمود. به لحاظ ریاضی هر سطح مسطح با تعیین سه نقطه در فضا به صورت منحصر به فرد تعریف می‌شود. اما وقتی تعداد نقاط بیش از سه باشد ابهاماتی نیز به وجود می‌آید. فرض کنید ۴ نقطه P1, P2, P3, P4 در اختیار است. همان‌گونه که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود به دو صورت می‌توان مثلث‌بندی کرد.



شکل (۴): دو نوع مثلث‌بندی ممکن برای ۴ نقطه

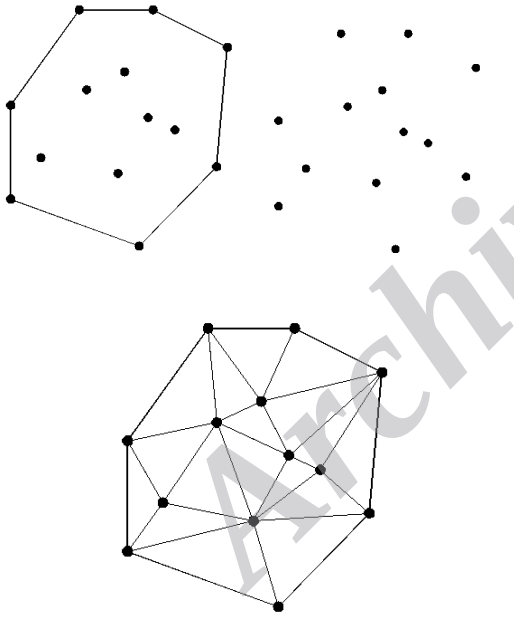
بوریس دلانی[2] در سال ۱۹۳۴ روشی برای تشکیل مثلث‌ها پیشنهاد نمود که به احترام ابداع کننده آن مثلث‌بندی دلانی۳ نامیده شد و اساس آن بر بیشینه ساختن کمینه زاویه در هر یک از مثلث‌هاست و هدف آن اجتناب از تشکیل مثلث‌های باریک است. به صورت کاربردی نباید در دایره محاطی هیچ یک از مثلث‌ها نقطه‌ای وجود داشته باشد. آزمون مثال فوق با دایره‌های محاطی نشان می‌دهد که نقطه P4 در دایره محاطی مثلث P1, P2, P3 و نقطه P2 در دایره محاطی مثلث P1, P4, P3 قرار دارد لذا این گزینه (مثلث‌بندی سمت چپ) مطلوب نیست ولی در دایره محاطی مثلث‌های P1, P2, P4 و P3, P2, P4 هیچ نقطه‌ای وجود ندارد و این ترکیب به اصطلاح دلانی[4] است.

1. Irregular Points
2. Boris Nikolaevich Delaunay or Delone 1890–1980 ریاضیدان روسی
3. Delaunay triangulation
4. Delaunay Triangle



شکل (۵): شرط دایره محاطی

برای یک مجموعه از نقاط روی یک خط اصولا هیچ مثلث‌بندی معناداری ممکن نیست و هرگاه ۴ نقطه روی یک دایره باشند آن‌گاه هر دو امکان تشکیل مثلث‌ها معتبر هستند و می‌توان هر یک از آنها را به دلخواه انتخاب نمود. مثلث‌بندی دلانی روی پوش محدب[5] مجموعه نقاط ایجاد می‌شود. پوش محدب یک مجموعه از نقاط در صفحه، کوچک‌ترین چند ضلعی محدبی است که تمامی نقاط، درون آن یا بر روی محیط آن قرار داشته باشند. پوش محدب را می‌توان یک نوار الاستیک فرض کرد که مجموعه‌ای از میخ‌ها (نقاط) را دربر گیرد. واضح است برای هر مجموعه متناهی از نقاط با تعداد بیشتر از سه پوش محدب یکتایی وجود دارد.

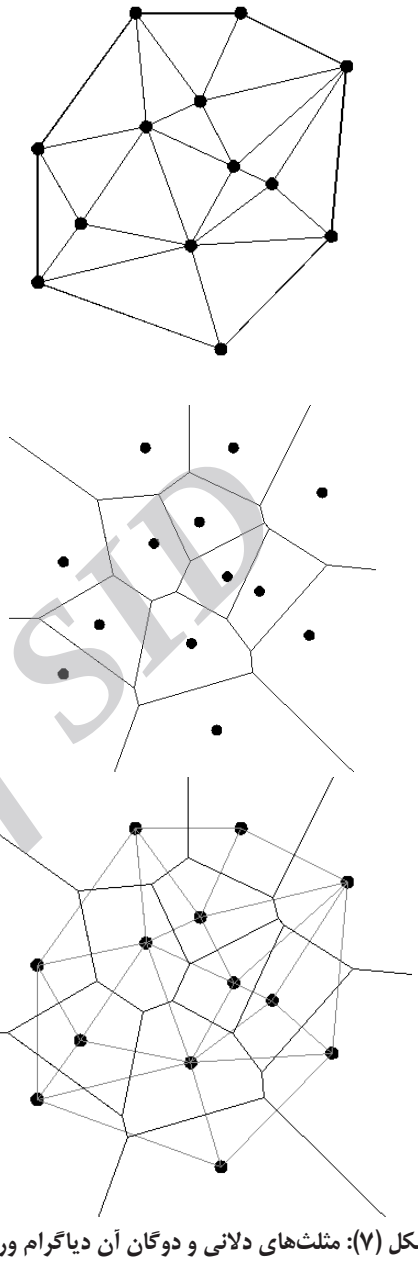


شکل (۶): پوش محدب و مثلث‌های دلانی مجموعه کوچکی از نقاط

نمودار ورونوی[6] دوگان ریاضی مثلث‌های دلانی است و از محل تقاطع عمود منصف‌های اضلاع مثلث‌های دلانی به‌دست می‌آید.

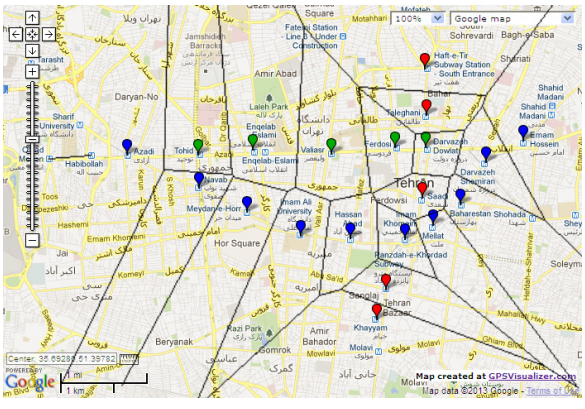
5. Convex Hull
6. Georgy Feodosevich Voronoy 1868 –1908 ریاضیدان اکراینی

Archive of SID
www.SID.ir



شکل (۷): مثلث‌های دلانی و دوگان آن دیاگرام ورونوی

دیاگرام ورونوی کاربردهای متعددی دارد به‌عنوان مثال در یک نقطه شهر با شما تماس می‌گیرند و لازم است یک کار بانکی را در یک بانک مشخصی انجام دهید، در همسایگی شما شعبه‌های بانکی زیادی وجود دارند اما کدام یک نزدیک‌ترین است. در این جا داشتن نقشه‌ای از شهر به شما کمک می‌کند تا نزدیک‌ترین شعبه بانکی را پیدا کنید، این نقشه باید شهر را به چند ناحیه تقسیم و برای هر ناحیه نزدیک‌ترین شعبه آن بانک را معلوم کند اما این نواحی به چه شکل خواهند بود و چگونه می‌توان آنها را محاسبه کرد؟ گرچه این مثال کمی غیر واقعی است ولی مفهوم هندسی یکی از روش‌های کاشی‌کاری (تعیین ناحیه) براساس تعداد معلومی از نقاط را که دیاگرام ورونوی نامیده می‌شود توصیف می‌کند. هر ناحیه در این دیاگرام نزدیک‌ترین فاصله به نقطه موجود در آن ناحیه و مرزها نیز هم فاصله‌گی را نشان می‌دهند.



شکل (۸): نمودار ورونوی ایستگاه‌های مترو در ناحیه مرکزی تهران

از این دیاگرام می‌توان برای تقسیم بندی حوزه خدمات دولتی به‌عنوان مثال نواحی تحت پوشش کلانتری‌ها، شهرداری مناطق، مدارس و همچنین در مدل سازی حرکت و هدایت روبات‌ها و طرح‌های کاشی‌کاری در معماری و ... استفاده کرد. به علاوه در طبیعت نیز نمونه‌های نزدیک به این دیاگرام وجود دارد.

شکل (۹): نمونه‌ای از نمودارهای ورونوی موجود در طبیعت

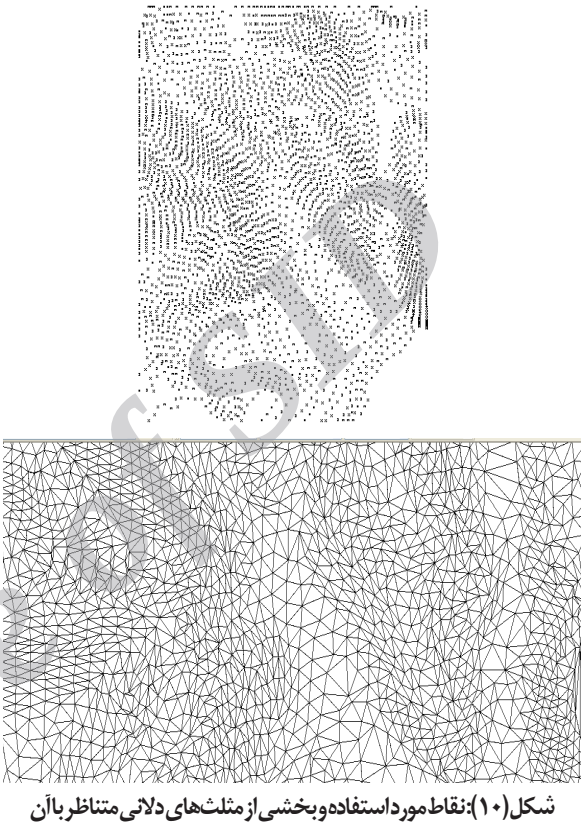
در صورتی که امکان اجرای Java Applet روی مرورگر شما فعال باشد می‌توانید در اینترنت و به صورت تعاملی مثلث‌بندی دلانی و دیاگرام ورونوی را تجربه و بررسی نمایید. در ادامه برای تاکید بر جنبه کاربردی مطلب، از مجموعه‌ای از داده‌هایی شامل ۳۳۸۷ نقطه سه بعدی استفاده شده است که فرض می‌شود از پردازش داده‌های آبنگاری اولیه به دست آمده و معتبر هستند. این نقاط به عمد دارای پیچیدگی ارتفاعی انتخاب شده‌اند تا بتوان مدل را در شرایط سخت آزمون نمود و گرنه بستر دریا در نواحی ساحلی، در سطح کمتری دارای این پیچیدگی است. همان طور که در شکل ۹ ملاحظه می‌شود چون این داده‌ها نامنظم هستند، مثلث‌های حاصل نیز همین مشخصه را دارند.

برای محاسبه مثلث‌بندی دلانی آلگوریتم‌های مختلفی ارائه شده است و نرم‌افزارهای متعددی نیز برای انجام آن تولید شده است. برای داده‌های این مقاله از نسخه 2012.1 2012/02/18 نرم‌افزار Qhull استفاده شده است. این نرم‌افزار به صورت کد منبع باز[1] در اینترنت دسترس است و طیف کاملی از مسایل مربوط به مثلث‌بندی دلانی و دیاگرام ورونوی را با ابعاد چهار و بیشتر پوشش می‌دهد. گرچه آخرین نسخه نرم افزار Qhull مربوط به سال ۲۰۱۲ است اما رابط کاربری ندارد و به صورت خط دستور[2] عرضه شده است. به همین دلیل ممکن است کار با آن کمی مشکل به نظر برسد ولی در واقع چنین نیست و از لحاظ محاسباتی بسیار کارآمد

1. Open Source
2. Command line

Archive of SID
www.SID.ir

است چنان که برای محاسبه بیش از ۶۶۰۰ مثلث مربوط به ۳۳۸۷ نقطه، کمتر از ۰/۰۵ثانیه زمان لازم دارد. چون این نرم‌افزار قسمت‌های مختلفی دارد برای مثلث‌بندی باید از بخش qdelaunay.exe استفاده نمود. در سطر اول فایل‌های داده باید ابعاد مورد نظر و در سطر دوم تعداد داده‌ها و از سطر سوم به بعد مختصات نقاط درج می‌شوند. در فایل خروجی نرم‌افزار، هر مثلث به‌صورت اشاره‌گری به نقاط فایل اصلی نشان داده شده وبنا بر رسم برنامه‌های C اشاره‌گر از صفر شروع می‌شود.

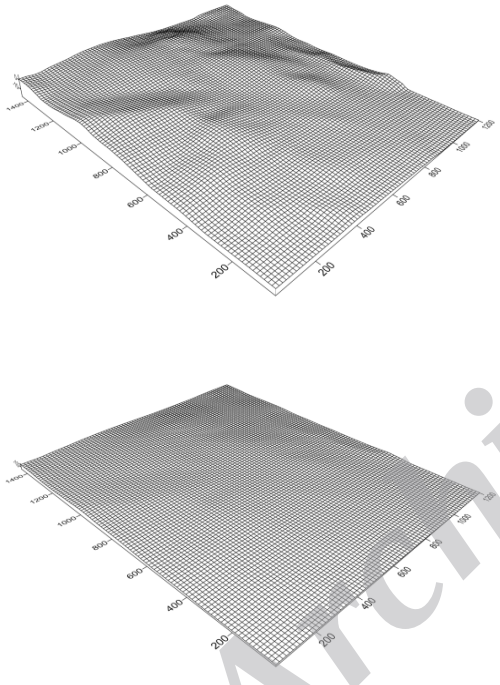


شکل(۱۰):نقاط مورداستفاده وبخشی از مثلث‌های دلانی متناظر با آن

چون فایل خروجی به صورت مستقیم شامل مختصات نیست به علاوه فقط سطح سه بعدی (و نه حجم) مورد نظر می‌باشد لازم است پردازش برای مثلث‌های دو بعدی انجام و سپس از روی اشاره‌گرها به مثلث‌های سه بعدی در خروجی برنامه Qhull، فایل مختصات مثلث‌های سه بعدی را تولید و استخراج نمود[1]. ضمن آن باید توجه داشت پارامترهای خط دستور به حروف بزرگ و کوچک حساس[2] هستند. به‌عنوان مثال دستور خواندن فایل داده‌ها به نام test2d. dat و تولید فایل اشاره‌گر به مثلث‌ها به نام result2d.dat به شکل زیر است.

qdelaunay i Qt TO result1 <test.dat

فایل مختصات مثلث‌ها توسط برنامه کوچک[3] دیگری در اتوکد خوانده شده و موجودیت‌های سه بعدی مربوط به آنها تولید می‌شوند. سطح تشکیل شده به همین صورت قابل استفاده است و در کاربرد واقعی ممکن است از آن به همین صورت استفاده شود اما برای کاربردهای توصیفی این مقاله سطح به دست آمده توسط درون و برون‌یابی که برای آن الگوریتم‌های مخلفی وجود دارد به یک شبکه منظم تبدیل شده است. تشکیل شبکه منظم منجر به تعدیل جزئی سطح اولیه می‌شود. این تعدیل تقریباً شبیه بارش برف روی زمین است که تا حدودی موجب پنهان شدن جزییات سطح خواهد شد و در کاربردهای واقعی لزوم استفاده از درون‌یابی و اندازه سلول شبکه منظم به کیفیت دستگاه‌های عمق یاب، چگالی نقاط برداشت شده و مهمتر از همه به نظر کارشناسی بستگی دارد اما ا ستفاده از آن در مورد مثال این مقاله اشکالی ندارد. برای تشکیل شبکه منظم از نسخه آزمون۴ نرم‌افزار سورفر استفاده شده که تعداد مثلث‌های اصلی را از حدود از ۶۶۰۰ مثلث برای شبکه‌ای با اندازه سلول مربعی به ابعاد تقریبی ۱۴× ۱۴ متر به بیش از ۱۶۲۰۰ افزایش می‌دهد. در نهایت سطح اولیه مطابق شکل ۱۰ قابل عرضه است.



شکل (۱۱): سطح منظم شده Z scale = 1, 4 to X,Y scale

همان طور که ملاحظه می‌شود به دلیل کوچک بودن تفاوت حداقل و حداکثر ارتفاع نقاط (در حدود ۲۴ متر) نسبت به ابعاد طول و عرض (۱۲۰۰ ×۱۴۰۰)، سطح مور نظر به طور تقریب بدون پست و بلند دیده می‌شود و به همین دلیل لازم است برای ارتفاع نقاط به منظور ارائه ظاهری (و نه محاسباتی) مقیاس مناسبی در نظر گرفته شود. این مقیاس برای سطح لایروبی نشده ۱۵ و برای سطح لایروبی شده ۴ در نظر گرفته شده است. باید توجه داشت هریک از سلول‌های سطح در شکل (۱۱) از دو مثلث تشکیل شده‌اند که چون داده‌ها به صورت شبکه منظم است، قطر هر سلول بدون آن‌که حذف شود نمایش داده نشده است.

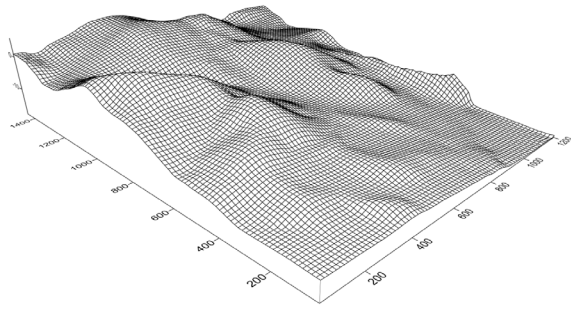
۱. (ن.ت.ن) استخراج مختصات مثلث‌های دلانی

2. Case Sensetive

۳. (ن.ت.ن) تولید مثلث‌های دلانی در Autocad

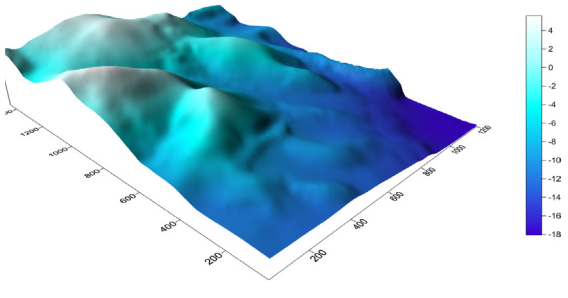
4. Trial

Archive of SID
www.SID.ir



شکل (۱۲): سطح منظم شده Z scale = 15 to X,Y scale

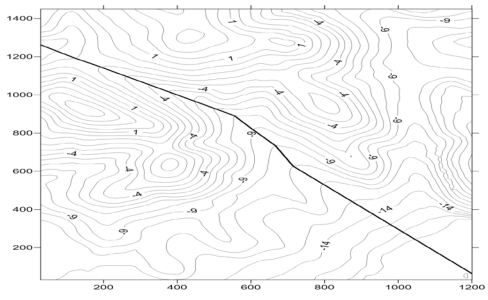
برای نمایش بهتر می‌توان هریک از مثلث‌ها را براساس عمق رنگ‌آمیزی نمود. فضای رنگ در رایانه‌ها یک بردار ۴ بعدی و به صورت (Translucent, Red, Green, Blue) است که مقدار مجاز هر بعد عدد صحیحی از ۰/۲۵۵است و چون برای سطح عنصر شفافیت در نظر گرفته نمی‌شود لذا با نسبت دادن هر رنگ به هر یک از راس‌های هر مثلث و نرمال سازی ارتفاع با توجه به حداقل و حداکثر عمق (Zmin: Blue, Zmid: Green, Zmax: Red) همراه با محدود نمودن دامنه رنگ‌های قرمز و سبز، می‌توان سطح را متناسب با عمق رنگ‌آمیزی نمود. در نرم‌افزار Surfer این قابلیت از پیش وجود دارد و برای اتوکد نیز این امکان به وجود آمده است[۱].

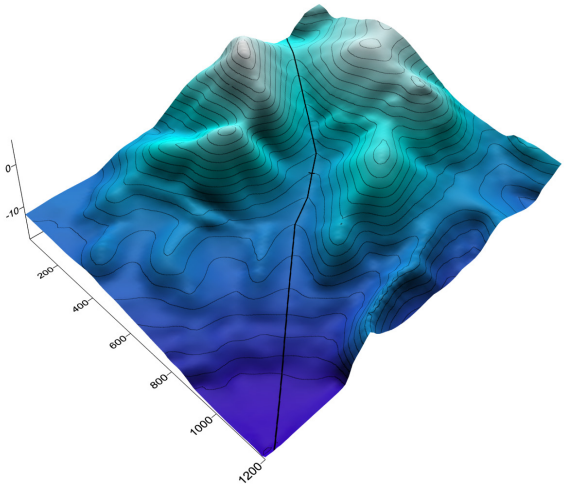


شکل (۱۳): سطح رنگ شده براساس عمق Z SCALE = 15 TO X,Y SCALE

۲-۳- شبیه‌سازی سطح نهایی مورد انتظار

اکنون که سطح آماده شده است می‌توان ناحیه مورد نظر برای لایروبی را تعیین و براساس آن سطح نهایی را شبیه‌سازی نمود. برای این مقاله فرض شده که قرار است یک آبراهه با عمق ۹ متر و عرض ۹۰ متر برای عبور همزمان ۲ شناور تدارک شود. با توجه به منحنی‌های تراز، بهتر است مسیر از خط‌القعر عبور نماید و همان‌طور که در شکل ۱۳ ملاحظه می‌شود خط تعیین شده منحنی تراز ۹ متر قطع کرده و بنابراین قبل از آن لایروبی لازم نیست و مسیر باید پس از این نقطه ایجاد شود. طول مسیر پس از خط تراز ۹ متر کمی بیش از ۷۳۰ متر است.





شکل (۱۴): مسیر تعیین شده و نقطه شروع لایروبی

برای تعیین شکل نهایی سطح، محور مسیر در سمت چپ و راست تعدیل شده و چون ایجاد دیواره قائم در کناره‌ها عملی نیست برای آن زاویه مناسبی در نظر گرفته شود. اکنون مسئله یافتن خطوط تقاطع صفحات منشعب شده از قطعات کناره‌های چپ و راست و سطوح تولید شده توسط مثلث‌های دلانی است. این خطوط را می‌توان خطوط برش نامید. امتداد خط تقاطع دو صفحه غیر موازی، از حاصل‌ضرب برداری نرمال‌های دو صفحه و مکان آن در فضا از حل همزمان معادلات دو صفحه به‌دست می‌آید. علاوه برآن باید خطوط تقاطع صفحاتی که در مثلث دلانی مربوطه قرار ندارند حذف شوند. در مثال مورد نظر ما تعداد قطعه خط‌های کناره‌های چپ و راست برابر ۴۴ و تعداد مثلث‌های دلانی شبکه منظم که سطح آبنگاری شده را نمایندگی می‌کنند ۳۲۹۴۴ است لذا در بدترین حالت باید بیش از ۲۹۰۰۰۰۰ تقاطع محاسبه و از بین آن‌ها خطوط معتبر انتخاب شود. با کمی خلاقیت و استفاده از روش‌های نرم‌افزاری می‌توان این تعداد و زمان انجام محاسبات را به شدت کاهش داد. محاسبه‌های فوق به‌وسیله یک رایانه با مشخصات Intel Core 2, 1.8Ghz, 2Gb Ram و سیستم عامل Windows XP Sp3در مدت زمان کمتر از ۴ ثانیه به انجام رسید[۲].

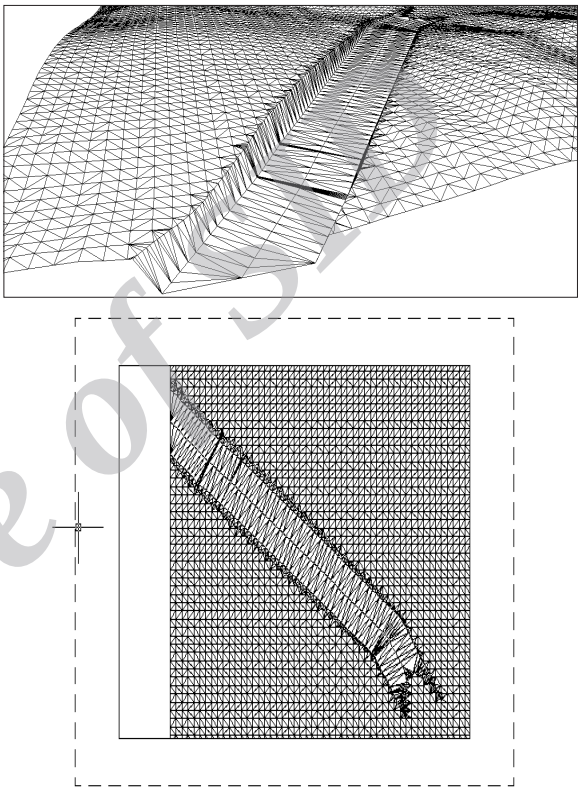
با به‌دست آمدن خطوط برش می‌توان سطح مورد نظر را ایجاد نمود. برای انجام این‌کار لازم است نقاط درون ناحیه برش حذف و نقاط کناره‌های چپ و راست در ارتفاع مورد نظر جایگزین و همچنین نقاط

۱. (ن.ت.ن) رنگ آمیزی بر اساس عمق

۲. (ن.ت.ن) محاسبه خطوط برش کناره‌های چپ و راست

Archive of SID
www.SID.ir

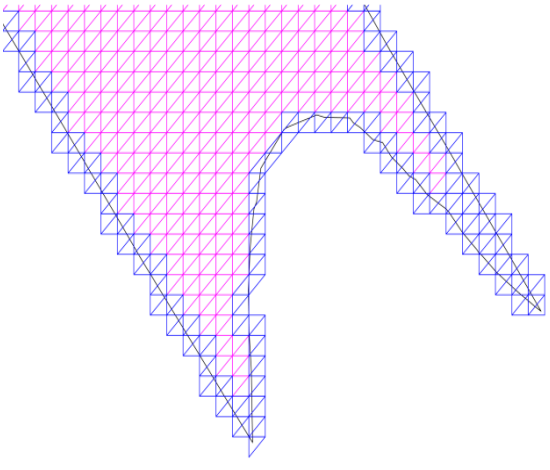
خطوط برش به مجموعه نقاط اضافه شوند[1]. با مثلث‌بندی این نقاط به روش پیش‌گفته شکل نهایی سطح پس از لایروبی شبیه‌سازی می‌شود. البته در لایروبی به طور معمول عمق ثابت است و مسیرهای شیب‌دار کاربردی نیست اما اگر لازم باشد می‌توان پروفیل‌های پیچیده‌تر نظیر آنچه که در راهسازی معمول است را نیز پیاده‌سازی نمود. همان طور که در شکل (۱۴) ملاحظه می‌شود سطح شبیه‌سازی شده دیگر شبکه منظم نیست و نمی‌توان از امکانات سورفر برای نمایش آن استفاده کرد. علاوه بر آن مقیاس ارتفاعی ۱۵ به تصور غیرواقع منجر می‌شود و به همین دلیل است که برای سطح شبیه‌سازی شده و سطح لایروبی شده از مقیاس ارتفاعی ۴ استفاده شده است.



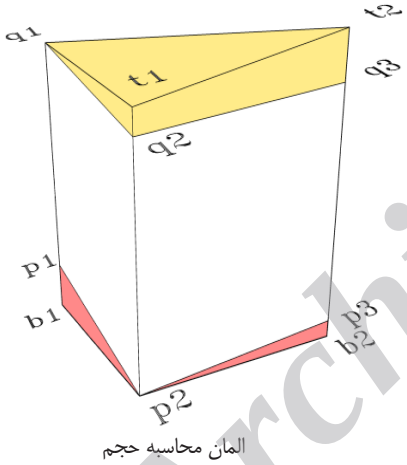
شکل –(۱۵): سطح نهایی شبیه‌سازی شده
Z scale = 4 to X,Y scale

۲-۴- محاسبه و برآورد حجم عملیات (سطح شبیه‌سازی شده)

در راهسازی حجم عملیات خاک‌برداری و خاک‌ریزی از پیمایش مسیر و محاسبه مجموع حجم عملیات مقاطع عرضی به‌دست می‌آید. این روش در برآورد حجم عملیات لایروبی نیز قابل استفاده است اما از آن برای سنجش حجم عملیات پس از لایروبی نمی‌توان به‌راحتی استفاده نمود. به همین لحاظ نگارنده روش دیگری به شرح زیر را مطرح و پیشنهاد می‌نماید. در این روش ناحیه برش (مسیر اصلی لایروبی و کناره‌ها) با تعدادی مثلث دو بعدی مشابه کاشی‌کاری[2] شده سپس حجم المان لایروبی شده برای هریک از کاشی‌ها و براساس اختلاف سطح اولیه و سطح نهایی، محاسبه و از مجموع آنها حجم عملیات[3] محاسبه می‌شود. در شکل زیر (المان محاسبه حجم) از سطح اولیه کاشی (q1,t1,t2) و از سطح لایروبی شده کاشی (b1,p2,b2) انتخاب شده و حجم آن از مجموع سه بخش بالایی (q1,q2,q3,t1,t2) و میانی (p1,p2,p3,q1,q2,q3) و زیرین (p1,p2,p3,b1,b2) به دست خواهد آمد.



کاشی‌های درون و روی مرز برش



المان محاسبه حجم

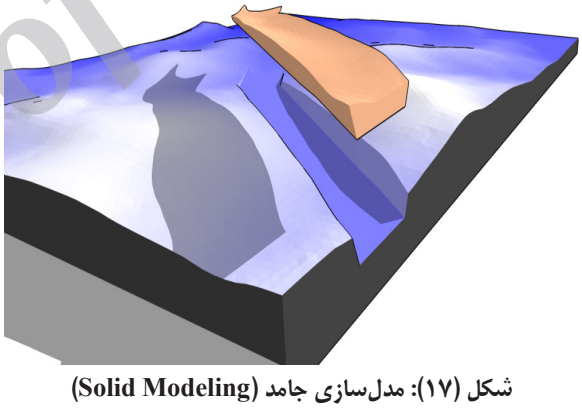
شکل (۱۶): نمونه‌ای از سطح شبیه‌سازی شده

ملاحظه می‌شود برای انتخاب کاشی‌ها دو گزینه وجود دارد اگر کاشی‌های درونی مرز برش انتخاب شوند حجم عملیات اندکی کمتر از واقع و اگر کاشی‌های درونی و روی مرز برش انتخاب شوند حجم عملیات اندکی بیشتر از واقع محاسبه خواهد شد. اگرچه با کاهش اندازه کاشی‌ها می‌توان دقت تعداد محاسبه ها را به دلخواه افزایش داد اما این موضوع به افزایش زمان محاسبه ها نیز منجر خواهد شد لذا لازم است تخمینی از میزان خطا در دست باشد. واضح است که حجم با کاشی‌های درونی < حجم واقعی < حجم با کاشی‌های درونی و روی مرز برش لذا اگر فقط سطح مد نظر باشد می‌توان انتظار داشت که اختلاف دو حد بالایی و پایینی به تناسب بین آنها تقسیم شود یعنی تقریباً نیمی از تفاوت، سهم کاشی‌های درونی و نیم دیگر متعلق به حد بالایی (کلیه کاشی‌ها) باشد. اما در مورد حجم این موضوع صحیح نیست زیرا سطح بیرونی

۱. (ن.ت.ن) حذف و جایگزینی نقاط در محدوده لایروبی
۲. (ن.ت.ن) کاشی‌کاری محدوده لایروبی
۳. (ن.ت.ن) محاسبه مجموع حجم المان‌ها براساس کاشی‌ها

Archive of SID
www.SID.ir

ناحیه برش دست نخورده باقی مانده و اگر چه افزایش کاشی‌ها سطح را افزایش می دهد اما این افزایش سطح خارج از ناحیه لایروبی حجم تولید نمی‌نماید. بنابراین با صرف نظر از خطای محاسبه المان حجم در لبه‌های برش در کناره‌های چپ و راست و با لحاظ کردن خطای احتمالی تجهیزات ژرفاسنج می‌توان حد بالایی را به‌عنوان تخمین مناسب‌تری نسبت به میانگین مجموع حد پایینی و حد بالایی در نظر گرفت. به علاوه تفاوت حد بالایی و پایینی و به‌ویژه نسبت نصف آن بر حد بالایی نیز معیاری از نیکویی اندازه کاشی‌ها است و براساس آن باید به به مصالحه‌ای از دقت و سرعت دست یافت. برای کاشی‌هایی به شکل مثلث قائم با ساق‌های مساوی ۵ متر اعداد حاصل به ترتیب عبارتند از: (۱) حجم با کاشی‌های درونی مرز برش: ۳۳۱/۴۶۸ متر مکعب، (۲) حجم با کاشی‌های درونی و روی مرز برش: ۳۴۴/۸۹۴ مترمکعب، (۳) حجم میانگین: ۳۸۸/۱۸۱ مترمکعب و (۴) معیار نیکویی: تقریباً ۱/۹۴٪. برای ارزیابی صحت نرم‌افزار محاسبات حجم از مدل‌سازی جامد که در طراحی صنعتی کاربرد دارد (و انجام آن برای چنین داده‌هایی کاری بسیار پرزحمت و وقت‌گیر است) استفاده شده است. مدل‌سازی جامد مشخصه‌های فیزیکی نظیر وزن، حجم، اینرسی، مرکز ثقل و ... را که در طراحی صنعتی لازمه کار است به دقت محاسبه و ارائه می‌نماید اما به‌جز حجم به میزان ۳۴۴/۱۵۰ متر مکعب سایر مشخصه‌ها در موضوع این مقاله کاربردی ندارد.



شکل (۱۷): مدل‌سازی جامد (Solid Modeling)

ملاحظه می‌شود حجم با کاشی‌های درونی و روی مرز برش به صورت غیرمنتظره‌ای به عدد واقعی بسیار نزدیک و اختلاف آنها فقط ۷۴۴ مترمکعب و خطای آن در حدود ۰/۲٪ است. اما باید توجه داشت خطای احتمالی تجهیزات عمق‌سنج در مقایسه سطح لایروبی شده و سطح اولیه این میزان از دقت را مخدوش خواهد کرد. نرم‌افزار طراحی شده در هر دقیقه حدود ۱۲۰۰ کاشی را محاسبه می‌نماید که با توجه به اندازه و تعداد کاشی‌ها، این زمان کمتر از ۵ دقیقه و دقت به‌دست آمده نیز کافی است اما اگر لازم باشد می‌توان ابعاد کاشی‌ها را کوچک‌تر در نظر گرفت و با صرف زمان بیشتر به دقت‌های بالاتری نیز دست یافت. برای کاشی‌های خیلی کوچک خطای ذاتی محاسبه‌های ممیز شناور که در رایانه‌ها وجود دارد قابل توجه خواهد شد لذا در مجموع کاشی‌های کوچک‌تر از یک متر توصیه نمی‌شوند. همچنین نرم‌افزار اتولیسپ[1] به صورت مفسر عمل می‌کند و دارای کندی ذاتی است اما در صورت لزوم برای افزایش قابل توجه سرعت محاسبه‌ها می‌توان از تکنولوژی‌های جایگزین سود برد.

1. AutoLisp

۲-۵- انجام عملیات لایروبی و آبنگاری پس از لایروبی

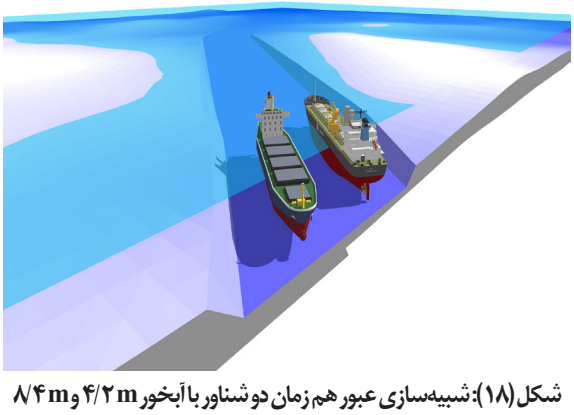
در این مرحله بخش واقعی عملیات لایروبی و پس از آن آبنگاری انجام و داده‌های آن بر اساس مراحل پیش‌گفته تصحیح شده و پس از تبدیل مختصات و تطبیق با سطح اولیه برای مراحل بعدی آماده می‌شود. چون شبکه‌بندی منظم به کاهش جزییات می‌انجامد لازم است در آبنگاری سطح لایروبی شده چگالی قابل قبولی از نقاط ثبت شوند به‌علاوه سطح مرجع نیز باید با دقت کافی مجدداً آبنگاری شود.

۲-۶- تشکیل سطح ریاضی منحصر به فرد براساس نقاط برداشت شده (سطح لایروبی شده)

در این مرحله از داده‌های پردازش شده برای مثلث‌بندی دلانی و تشکیل سطح واقعی ناشی از عملیات استفاده خواهد شد. نکته مهم در این مرحله تصمیم‌گیری صحیح در خصوص تشکیل شبکه منظم است زیرا دقت کناره‌ها در شبکه منظم از بین می‌روند و اگر بنا بر تشکیل شبکه منظم باشد باید حجم داده‌های برداشت شده زیاد و اندازه سلول شبکه کوچک باشد. در هر حال باید توجه داشت که شبکه‌بندی منظم خطایی را به‌ویژه در کناره‌های چپ و راست خط برش در محاسبه ها وارد خواهد کرد. قبل از انجام محاسبه‌های اصلی نیز لازم است حجم ناشی از اختلاف سطح مرجع قبل و پس از لایروبی را محاسبه و از اندازه آن که در حالت ایده‌آل برابر صفر است به تخمینی از کیفیت داده‌ها دست یافت. برای سطح مرجع شبکه‌بندی منظم بلااشکال به نظر می‌رسد فقط اندازه سلول‌ها و الگوریتم شبکه‌بندی نباید تغییر داده شود. در صورت کوچک بودن حجم ناشی از اختلاف سطح مرجع، می‌توان داده‌های شبکه منظم بستر اولیه در خارج از ناحیه لایروبی را جایگزین داده‌های بستر لایروبی شده در خارج از ناحیه لایروبی نمود یا به تعبیر دیگر نقاط درون و روی مرز ناحیه لایروبی را از بستر اولیه حذف و داده‌های ناحیه لایروبی شده را جایگزین و با بستر اولیه ادغام نمود.

۲-۷- محاسبه حجم ناشی از عملیات لایروبی

اکنون سه سطح در دست است، اولین آنها سطحی است که براساس داده‌های آبنگاری پیش از لایروبی آماده شده، سطح دوم براساس نیازها طراحی و شبیه‌سازی شده است و سطح سوم نیز سطح بستر پس از انجام عملیات لایروبی است که با روش‌های ارائه شده در متن می‌توان حجم عملیات را با دقت کافی محاسبه نمود و از روی مدل‌های سه‌بعدی به تصویر بهتری از کیفیت و مکان لایروبی شده دست یافت.



شکل (۱۸): شبیه‌سازی عبور هم‌زمان دو شناور با آبخور ۴/۲ m و ۸/۴ m

Archive of SID
www.SID.ir

۳- نتیجه گیری

همان‌طور که در متن ملاحظه شد با استفاده از روش پیشنهادی، هدف‌های طرح محقق خواهند شد زیرا روش ارائه شده از پشتوانه نظری مناسبی برخوردار است به‌علاوه می‌تواند توسط هرکس که به داده‌ها دسترسی داشته باشد اجرا شود هم‌چنین در نتایج آن جای چون و چرا نیست و تا زمانی‌که داده‌ها بر اثر مرور زمان و کهنگی نامعتبر نشده‌اند قابل تکرار است. با توجه به این که در این روش از فناوری‌های موجود و کد منبع باز استفاده شده این قابلیت وجود دارد تا آن را به‌عنوان روش واحد در سازمان بنادر و دریانوردی و کلیه بنادر معرفی نمود. برای این‌کار لازم است تا دانش فنی به‌دست آمده در این پژوهش به همراه نظرات و نیازمندی‌های بنادر و متولیان امر در سازمان بنادر، در قالب یک RFP برای نرم‌افزار مناسبی که پاسخ‌گوی نیازمندی‌ها باشد تجمیع و توسط یکی از شرکت‌های نرم‌افزاری داخلی با قیمت مناسب اجرا و پیاده‌سازی شود.

مراجع

1. http://usa.autodesk.com
2. http://soft98.ir/software/engineering/3522-sdr-map.html
3. http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/maritime
4. http://www.deltaressystems.com/hydro/product/621497/delft3d-suite
5. http://www.dtmsoftware.com/
6. http://www.reson.com/products/pds-2000-software/
7. http://www.trimble.com/hydroprocon.shtml
8. http://www.towerhydrographics.com/index.htm
9. http://www.sea.co.uk/products/survey/SWATHplus.aspx
10. http://www.caris.com/products/
11. http://www.hypack.com/new/
12. http://en.wikipedia.org/wiki/Mercator_projection
13. http://en.wikipedia.org/wiki/Transverse_Mercator_projection
14. http://home.hiwaay.net/~taylorc/toolbox/geography/geoutm.html
15. www.grabcad.com
16. http://www.cs.cornell.edu/home/chew/Delaunay.html
17. http://www.qhull.org

Archive of SID

www.SID.ir