

راهنمای استفاده از مدل عددی سه بعدی با استفاده از گزینه چند مانعی

به منظور شبیه سازی حرکت رسوبات در آبگیرها

(SSYM) نسخه یک و دو

www.ketabir.ir

سرشناسه : اولسن، نیلس ریدر بی.

Olsen, Nils Reidar B

عنوان و نام پدیدآور : راهنمای استفاده از مدل عددی سه بعدی با استفاده از گزینه چند مانعی به منظور شبیه سازی حرکت رسوبات در آبگیرها (SSIIM)

نسخه یک و دو/ مؤلف نیلز ریدار ب. اولسن؛ مترجمین جعفر جعفری اصل، سمیرا سعیدی.

مشخصات نشر : زنجان: قلم مهر، ۱۳۹۶.

مشخصات ظاهری : ۲۴۲ص.

شابک : ۳۰۰۰۰ ریال: ۷-۲۸-۸۴۹۴-۶۰۰-۹۷۸

وضعیت فهرست نویسی : فیبا

یادداشت : کتاب حاضر از سایت <http://folk.ntnu.no/nilsol/ssiim/manual3.pdf> گرفته شده است.

یادداشت : عنوان اصلی: A three-dimensional numerical model for simulation of sediment movements in water intakes with multiblock option version 1 and 2 user's manual, 2011.

یادداشت : کتاب حاضر نخستین بار تحت عنوان «راهنمای جامع استفاده از مدل عددی SSIIM در شبیه سازی الگوی جریان و رسوب (ورژن های ۱ و ۲)» (برگرفته از راهنمای اصلی) با ترجمه فاطمه عوض پور، کیوان توکلی، کمال شعبانی توسط انتشارات بوی باران در سال ۱۳۹۵ فیبا دریافت کرده است.

عنوان دیگر : «نماینده جامع استفاده از مدل عددی SSIIM در شبیه سازی الگوی جریان و رسوب (ورژن های ۱ و ۲)» (برگرفته از راهنمای اصلی).

موضوع : هیدرولیک -- نرم افزار

موضوع : -- Software Hydraulics

موضوع : هیدرولیک -- داده پردازی

موضوع : Hydraulics -- Data processing

موضوع : آب -- مهندسی -- نرم افزار

موضوع : Hydraulic engineering -- Software

موضوع : آب -- مهندسی -- داده پردازی

موضوع : Hydraulic engineering -- Data processing

موضوع : سیالات -- دینامیک -- نرم افزار

موضوع : Fluid dynamics -- Software

موضوع : سیالات -- دینامیک -- شبیه سازی کامپیوتری

موضوع : Fluid dynamics -- Computer simulation

شناسه افزوده : جعفری اصل، جعفر، ۱۳۷۰ - مترجم

شناسه افزوده : سعیدی، سمیرا، ۱۳۴۳ - مترجم

رده بندی کنگره : ۱۳۹۶ الف ۸/۲ TC۱۵۷۱۸

رده بندی دیویی : ۶۲۷/۰۲۸۵

شماره کتابشناسی ملی : ۴۴۴۸۷۷۸



انتشارات قلم مهر

[www.tabassom.org](http://www.tabassom.org)

عنوان کتاب: راهنمای استفاده از مدل عددی سه بعدی با استفاده از گزینه چند مانعی به منظور شبیه سازی حرکت رسوبات در آبگیرها (SSIIM) نسخه یک و دو

مؤلف: نیلز ریدار ب. اولسن

مترجمین: جعفر جعفری اصل - سمیرا سعیدی

ویراستار ادبی: فرهاد مردانه طراح جلد: عبدالله جعفری اصل

ناشر: انتشارات قلم مهر

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۶

شابک: ۷-۲۸-۸۴۹۴-۶۰۰-۹۷۸

چاپ و صحافی: پیشگام

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۲۰۰۰۰ تومان

شماره تماس ناشر: ۰۲۴-۳۳۳۲۹۳۱۷

## فهرست

### فصل اول: مقدمه

- ۱-۱- رفع مسئولیت‌ها و موارد قانونی..... ۱
- ۲-۱- محدودیت‌های برنامه و ایرادات شناخته‌شده..... ۲
- ۳-۱- اهداف مدل..... ۳
- ۴-۱- مدل در یک نگاه..... ۴
- ۵-۱- راهنمایی‌هایی در مورد نسخه‌های مختلف SSIIM..... ۵

### فصل دوم: بانی تئوریک

- ۱-۲- محاسبات جریان آب..... ۷
- ۲-۲- محاسبات کیفیت آب..... ۱۳
- ۳-۲- محاسبه جریان رسوب..... ۲۱
- ۴-۲- محاسبات دما..... ۲۳
- ۵-۲- مدل‌سازی جلبک جریان آزاد..... ۲۴

### فصل سوم: ارتباط با کاربر

- ۱-۳- مهم‌ترین نمود ارتباط کاربر..... ۲۹
- ۲-۳- فعل و انفعالات ورودی از پارامترها..... ۳۱
- ۳-۳- ویرایشگر شبکه..... ۳۲
- ۴-۳- ویرایشگر دبی..... ۴۸
- ۵-۳- ارائه گرافیکی..... ۴۹
- ۶-۳- بازیابی گرافیک‌ها..... ۵۴
- ۷-۳- انیمیشن..... ۵۶

## فصل چهارم: فایل‌های ورودی و خروجی

|          |                                                        |
|----------|--------------------------------------------------------|
| ۵۹.....  | ۱-۴ ساختار فایل.....                                   |
| ۶۱.....  | ۲-۴ فایل boogie.....                                   |
| ۶۳.....  | ۳-۴ فایل Control.....                                  |
| ۱۵۶..... | ۴-۴ فایل‌های Koomin و Koordina.....                    |
| ۱۵۸..... | ۵-۴ فایل unstruc.....                                  |
| ۱۶۰..... | ۶-۴ فایل geod.....                                     |
| ۱۶۲..... | ۷-۴ فایل bedroug.....                                  |
| ۱۶۲..... | ۸-۴ فایل‌های Vegdata و Posdata.....                    |
| ۱۶۶..... | ۹-۴ فایل SSIIM1 در inflow.....                         |
| ۱۶۷..... | ۱۰-۴ فایل نتایج.....                                   |
| ۱۶۹..... | ۱۱-۴ فایل Conres.....                                  |
| ۱۶۹..... | ۱۲-۴ فایل‌های interres و interpol.....                 |
| ۱۷۲..... | ۱۳-۴ فایل Verify.....                                  |
| ۱۷۳..... | ۱۴-۴ فایل‌های timei و timeo.....                       |
| ۱۷۸..... | ۱۵-۴ فایل Forcelog (فقط در مورد SSIIM1).....           |
| ۱۷۹..... | ۱۶-۴ فایل‌های Xcyc و Koosurf (فقط در مورد SSIIM1)..... |
| ۱۷۹..... | ۱۷-۴ فایل bedres (فقط SSIIM2).....                     |
| ۱۸۰..... | ۱۸-۴ فایل habitat.....                                 |
| ۱۸۰..... | ۱۹-۴ فایل‌های Tecplot و Paraview.....                  |
| ۱۸۳..... | ۲۰-۴ فایل Fracres.....                                 |

## فصل پنجم: فایل‌های خروجی: توصیه‌هایی برای کار با نرم افزار SSIIM

|          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| ۱۸۵..... | ۱-۵ پیشنهاداتی برای کاربران جدید..... |
|----------|---------------------------------------|

|     |                                                                                     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۸۷ | ۲-۵- شروع به کار.....                                                               |
| ۱۹۳ | ۳-۵- سولات رایج.....                                                                |
| ۱۹۹ | ۴-۵- مثال آموزشی ۱، انقباض کانال ( برای نسخه تحت ویندوز SSIIM1).....                |
| ۲۰۳ | ۵-۵- مثال آموزشی ۲، ماسه گیر ( برای نسخه تحت ویندوز SSIIM1).....                    |
| ۲۰۹ | ۶-۵- مثال آموزشی ۳، شبکه ۲ بلوکه (SSIIM2).....                                      |
| ۲۱۷ | ۷-۵- مثال آموزشی ۴، ماسه گیر ( برای نسخه تحت ویندوز SSIIM2).....                    |
| ۲۲۱ | ۸-۵- مثال آموزشی ۵، آب شستگی در محل تنگ شدگی ها ( برای نسخه تحت ویندوز SSIIM1)..... |
| ۲۲۷ | ۹-۵- مثال ها.....                                                                   |
| ۲۳۱ | ۱۰-۵- شبکه.....                                                                     |
| ۲۳۳ | ۱۱-۵- حرکت سای - جی شیکا.....                                                       |
| ۲۳۵ | ۱۲-۵- تجربیاتی در مورد همگی و بایداری حل مسأله.....                                 |
| ۲۳۹ | ۱۳-۵- تفسیر نتایج.....                                                              |
| ۲۴۳ | ۱۴-۵- شبکه های تودرتو.....                                                          |
| ۲۴۵ | ۱۵-۵- ایرادات رایج.....                                                             |

## فصل ششم: برنامه نویسی SSIIM DLLs

|     |                                          |
|-----|------------------------------------------|
| ۲۴۷ | ۱-۶- مقدمه.....                          |
| ۲۴۸ | ۲-۶- گردآوری.....                        |
| ۲۴۹ | ۳-۶- فایل BEDDLL- توابع انتقال رسوب..... |

## مقدمه مترجمین

میزان انتقال و توزیع رسوب در رودخانه‌ها از جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی دارای اهمیت فراوانی است. کیفیت نامناسب آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، تغییر مورفولوژی مرزهای محیط‌زیست‌های آبی، خرابی تجهیزات تأمین آب، رسوب‌گذاری در مخزن سدها، کانال‌های کشتیرانی و آبگیرهای جانبی می‌تواند از جمله دلایلی باشد که لزوم درک صحیحی از فرآیند انتقال رسوب را نشان می‌دهد.

بحث رسوب یکی از مسائل مطرح در آبگیری از رودخانه‌ها است. در آبگیری از رودخانه‌ها معمولاً آب بدون رسوب مورد نیاز است، درحالی‌که جریان در رودخانه حاوی رسوب است که اگر این رسوبات به همراه جریان وارد سیستم آبگیر شود، ممکن است با رسوب‌گذاری در سیستم آبگیر و داخل کانال‌ها، عملکرد سیستم را مشکل مواجه شود. از این رو شناخت مکانیسم و بررسی فرآیند انتقال رسوب به آبگیر دارای اهمیت فراوانی است و در کنترل و ارائه راهکارهای کاهش رسوب ورودی به آبگیر مؤثر است.

بار رسوبی که به دود به بار بستر و معلق تقسیم می‌شود. بار بستر به‌عنوان بخشی از بار مصالح کف در نظر گرفته شده است که با کف در تماس است. برای توصیف بار بستر پژوهشگران مختلف تعاریفی ارائه کرده‌اند که گاهی دارای تفاوت‌هایی با یکدیگر است. اما در بیشتر منابع موجود بار بستر شکلی از انتقال تعریف شده که بیشتر تحت تأثیر نیروی گرانش است و آثار آشفتگی از مرتبه دوم اهمیت برخوردار است. در مقابل، آشفتگی بر مسیر حرکت رات، در انتقال بار معلق نقش قابل توجهی دارد. از آنجاکه انتقال ذرات رسوب در جریان یکی از مهم‌ترین و بنیادین مسائل دینامیک سیالات است. با وجود مطالعه مهندسی و مورفولوژی ست‌های رودخانه و انجام پژوهش‌های فراوانی باهدف درک رفتار رسوب و ارائه دیدگاه‌های متفاوتی برای حل مسائل آن هنوز رابطه بین جریان و انتقال رسوب حتی برای شرایط ساده جریان نیز کاملاً شناخته شده نیست. بیشتر مفاهات اولیه، مسئله انتقال رسوب باهدف به دست آوردن روابط نیمه تجربی انجام شده است. اگرچه مدل‌های نیمه تجربی شکل گسترده‌ای در طراحی‌های مهندسی و در پیش‌بینی تغییرات ریخت‌شناسی کف به کار می‌رود، اما با توجه به این‌که بیشتر این روابط بر اساس داده‌های میدانی و آزمایشگاهی و در شرایط هیدرولیکی محدود تدوین شده‌اند، محدوده کاربرد این روابط روشن نیست.

از سوی دیگر محدودیت تکنولوژی اندازه‌گیری، مطالعه جزئیات جریان‌های رسوبی را با مشکل روبرو می‌سازد.

بنابراین با توجه به توسعه کامپیوتر در دهه‌های اخیر و همچنین مشکلات مطالعات میدانی و آزمایشگاهی، استفاده از مدل‌سازی عددی یکی از راه‌های مفید به‌منظور درک کامل مکانیسم انتقال رسوب می‌باشد. مدل SSIM یک مدل عددی سه‌بعدی طراحی و توسعه داده شده در دپارتمان مهندسی هیدرولیک و محیط‌زیست دانشگاه علوم و تکنولوژی نروژ، که مخفف عبارت مقابل Sediment Simulation In

**Intakes with Multiblock option** و به معنای شبیه‌سازی رسوب در آبگیرها با قابلیت شبیه‌سازی رسوب در مخازن و کانال‌هاست، می‌باشد. این مدل سه‌بعدی بر مبنای روش حجم محدود بوده و معادلات ناویر-استوکس را بر مبنای مدل آشفتگی  $k - \epsilon$  استاندارد حل می‌کند. البته این مدل قابلیت استفاده از دیگر مدل‌های آشفتگی را نیز دارد که توسط کاربر انتخاب می‌شود. همچنین معادلات حاکم بر این مدل نیز به دو بخش معادلات جریان و معادلات رسوب تقسیم می‌شود.

زمینه استفاده از این مدل در مهندسی رودخانه، مهندسی محیط‌زیست، مهندسی هیدرولیک و رسوب می‌باشد. بعدها استفاده از این مدل در سایر موضوعات هیدرولیکی نظیر مدل کردن سریزها، مدل کردن افت در تونل، رابطه عمق و دبی در رودخانه‌ها و ... نیز توسعه یافت. مهم‌ترین عامل برتری این مدل نسبت به اکثر مدل‌های CFD موجود قابلیت حل محاسبات انتقال رسوب در یک بستر متحرک در مدت گذشت زمان و هندسه‌های پیچیده است.

اهمیت و کاربرد این مدل در پژوهش‌های تحقیقاتی و پژوهشی کشور عزیزمان، سبب شد تا راهنمای استفاده از این مدل را ترجمه کنیم و دانشجوین و مهندسين این مرزوبوم قرار دهیم تا سهمی هرچند کوچک در مسیر انجمنی و زانزوری علمی فعالان این رشته در میهن عزیزمان داشته باشیم. در این راستا تمام سعی و تلاش خود را در ترجمه این راهنما به کار گرفته‌ایم و امیدواریم که بتوانیم این راه طولانی را با همفکری اندیشمندان و صاحب نظران عزیز طی نمائیم. لازم به ذکر می‌دانیم که به جهت سهولت در دنبال کردن دستورات نحوه‌ی سازی، گام‌های این روند که به صورت آیکن‌های انگلیسی در نرم افزار موجودند به همان ترتیب و با استفاده از کلمات انگلیسی بیان گردیده‌اند.

در انتها کمال تشکر خود را از جناب آقای مجید نیک‌رادی بابت حمایت‌ها و انتشارات قلم مهر که امکان نشر این کتاب را مهیا نمودند و جناب آقای فرهاد مردانه که زحمت ویراستاری و بی‌این اثر را به عهده داشتند و در جهت هرچه بهتر شدن این اثر تلاش بسیاری نموده‌اند اعلام می‌نمایم.

جاری اصل - سعیدی

[Jafar.jafariasl@yahoo.com](mailto:Jafar.jafariasl@yahoo.com)

[Saeidimastery@gmail.com](mailto:Saeidimastery@gmail.com)

با توجه به اینکه این راهنما نسبتاً حجیم می‌باشد و خواندن آن زمان زیادی را می‌طلبد، به کسانی که برای اولین بار قصد آشنایی با نرم افزار SSIIM را دارند مطالعه فصل ۵ را موكدا توصیه می‌كنم.

من برنامه SSII را در طی سال‌های ۹۱-۱۹۹۰ و ضمن گذراندن دوره دکترای خود در رشته مهندسی هیدرولیک در دانشگاه تکنولوژی نروژ، تهیه کرده‌ام. عنوان SSII برای این برنامه از مخفف عبارت Sediment Simulation In Intakes به معنای شبیه سازی رسوب در آبگیرها انتخاب شده است. این برنامه در اصل براساس برنامه SPIDER که در طی سالهای ۹۰-۱۹۸۹ توسط آقای پروفسور م. ملاین<sup>۱</sup> ضمن گذراندن دوره دکترای ایشان نوشته شده است، طراحی گردیده است. برنامه SPIDER مسایل جریان در یک محیط ۳ بعدی را تحلیل می‌کند. برنامه SSII از روش‌های محاسبه رسوب برای حل ۳ بعدی معادله انتشار - انتقال در بحث انتقال رسوب، همانند برنامه SPIDER در یک محیط گرافیکی ارتباط با کاربر در سیستم عامل OS/2 استفاده می‌کند.

انگیزه اصلی از طراحی برنامه SSII مشتق بود از شبیه سازی حرکات رسوب های ریز در جریان با استفاده از مدلسازی‌های فیزیکی بوده است. رسوب های ریز، اغلب با اندازه ای کمتر از ۰/۲ میلی متر تاثیر زیادی بر فرسایش توربین ها دارند. همچنین این برنامه قابلیت شبیه سازی رسوب در مخازن و کانال ها را نیز دارد.

در زمانی که من نسخه اولیه این برنامه را ساختم دسترسی کافی به امکانات کامپیوتری نداشتم. این مساله درکنار کمبود اطلاعات درباره سیستم UNIX باعث شد که زبان خود را بر روی سیستم های خانگی PC توسعه دهم. محدودیت دیگر محدودیت حافظه 640 KB مربوط به سیستم DOS بود. حافظه لازم برای هماهنگی الگوریتم های برنامه به حجم حافظه بیشتری نسبت به حافظه سیستم عامل DOS نیاز داشت و از طرفی در استفاده از حافظه خارجی نیز چندان اطمینانی وجود نداشت. از طرف دیگر زمان زیادی که برای انجام محاسبات لازم بود

<sup>1</sup> M. Melaaen



ضرورت استفاده از یک سیستم عامل چندکاره را مشخص می نمود. بنابراین سیستم عامل OS/2 انتخاب شد. کار با این سیستم عامل در مقایسه با سیستم عامل UNIX بسیار ساده تر بوده و این امر نکته مثبتی در گسترش و توسعه برنامه به حساب می آید.

بعد از اتمام رساله دکترای خود در سال ۱۹۹۰، من تصمیم به توسعه برنامه های CFD گرفتم. یکی از نقاط ضعف برنامه های SPIDER و SSII الزام به کار با آنها در شبکه های منظم و استفاده از یک بلوک بود. در حالت طبیعی هر محدوده بررسی نظیر کانال و رودخانه شامل تعداد زیادی بلوک بود. این امر موجب ضرورت ایجاد تغییراتی در برنامه های مذکور گردید. برای اینکار مدل جدیدی به برنامه SSII اضافه شد و مدل نهایی با عنوان SSIIM طراحی گردید.

نسخه ۱ برنامه SSIIM در آگوست ۱۹۹۳ بر روی اینترنت قرار داده شد. در نسخه ۱،۱ برنامه که در ۱۸ اکتبر همان سال بر روی اینترنت قرار گرفت بعضی از ایرادات مشاهده شده در نسخه قبلی اصلاح و در محاسبات جریان قوت به پیشرفتی حاصل شد. در پاییز سال ۱۹۹۳ نسخه ۱،۲ این برنامه ساخته شد که در آن روش ایجاد صلاحتی در محیط ارتباط با کاربر و نیز تجدید نظر در برخی موارد، ابزارهای دیگری نیز به برنامه اضافه شد. این نسخه در ۲۲ دسامبر سال ۱۹۹۳ بر روی اینترنت قرار داده شد. در ژانویه ۱۹۹۴ این برنامه در اختیار چند موسسه آب قرار داده شد. نسخه ۱،۳ این برنامه با رفع چند ایراد دیگر و توسعه محیط گرافیکی برنامه و محاسبه ته نشینی در ۵ آوریل ۱۹۹۴ بر روی اینترنت قرار داده شد. تنها نسخه ۱،۴ برنامه تا اضافه شدن برنامه OpenGL زمان برد و برای این کار از نسخه ۴ سیستم عامل OS/2 استفاده شد. نسخه ۱،۴ برنامه علاوه بر توسعه و بهبود محیط گرافیکی برنامه، شامل افزاینده های برای محاسبات آبی جریان، سطح آزاد و انتقال رسوب و نیز عمق متوسط ۲ بعدی بود.

در تمام نسخه های 1.x برنامه از شبکه های منظم استفاده می شد و این امر مدلسازی هندسه های پیچیده را مشکل می ساخت. در تابستان ۱۹۹۷ مدل اصلی نسخه SSIIM2 ساخته شد که بر مبنای شبکه های غیر منظم و تو در تو بود. این نسخه طی دو سال دوره پسا دکترا من در Bristol و Trondheim مورد آزمایش قرار گرفت و بهبود یافت.

در پایان تابستان و پاییز 1999 هر دو نسخه برنامه یعنی SSIIM 1 و SSIIM 2 بصورت تحت ویندوز آماده شدند. ورژن ۱ شامل ۳ بخش اجرایی و ویرایشگر شبکه، گرافیک ۳ بعدی OpenGL و برنامه اصلی می‌شد در حالیکه در نسخه ۲ این برنامه با حذف OpenGL و یکی شدن دو بخش دیگر عملاً برنامه دارای یک بخش اجرایی گردید. البته توجه شود که گرافیک OpenGL برای Windows NT فعال می‌باشد اما در 95, 98 Windows دیگر نیازی به این برنامه نبوده است و برنامه بدون آن قابل اجرا می‌باشد. از دیگر مزیت‌های نسخه‌های تحت ویندوز، نصب بودن و قابلیت اجرای این سیستم عامل بر روی اکثر کامپیوترهای امروزی و نیز دو برابر بودن سرعت پردازش در این سیستم عامل نسبت به سیستم عامل OS/2 می‌باشد. در نسخه تحت ویندوز SSIIM 1 ویرایشگر شبکه بار دیگر به برنامه اصلی اضافه شده است. گرافیک OpenGL یک برنامه جداگانه می‌باشد: برنامه si3dview. در سال ۲۰۰۱ الگوریتم‌های برای نوشتن فایل نتایج بصورت سه بعدی برای برنامه Tecplot قابل پردازش باشد به برنامه اضافه گردید. برنامه Tecplot بصورت تجاری در دسترس می‌باشد و دارای امکانات مناسب برای نمایش تصاویر ۳ بعدی می‌باشد و بنابراین در پایان به بروز رسانی برنامه si3dview نمی‌باشد. در بهار ۲۰۰۷ الگوریتم‌های دیگری برای تولید فایلهای نتایج به صورتیکه توسط برنامه Paraview قابل خواندن باشند تولید و به برنامه اضافه گردید. این برنامه همانند برنامه Tecplot بوده و رایگان هم می‌باشد.

در بهار سال ۲۰۰۷ همچنین الگوریتم‌هایی برای نوشتن و تولید فایل‌های ورودی برنامه OpenFOAM نوشته شد. این نرم افزار که یک برنامه کد C++ باشد شامل کدهای برنامه نویسی و ابزارهای بیشتر نسبت به برنامه SSIIM در مورد توربولانس می‌باشد.

در بهار ۲۰۰۱ نسخه‌های SSIIM با آرشو DLL ساخته شد. DLL محقق عبارت از Dynamic Link Library می‌باشد و شامل الگوریتم‌های عددی برای انتقال رسوب و مقاومت جریان با حضور پوشش گیاهی است. در سال ۲۰۰۵ کدهای اصلی فایل beddll.dll ساخته و بر روی شبکه اینترنت قرار گرفت.

در سال ۲۰۰۵ همچنین نسخه های از SSIIM1 برای سیستم عامل Linux ساخته و بر روی اینترنت قرار داده شد. کدهای اصلی این نسخه نیز شبیه کدهای نسخه های تحت ویندوز می باشد. در نظر داریم که نسخه های تحت سیستم عامل Linux را هر چند کمتر از نسخه های تحت ویندوز به روز رسانی شود.

در تابستان سال ۲۰۰۷ کار بر روی سیستم های موازی با برنامه SSIIM آغاز شد. این کار با استفاده از ابزارهای چند هسته ای سیستم openMP می باشد که در آن امکان کار گروهی و گره های به اشتراک گذاشته شده میسر می گردد.

برنامه های آتی برای توسعه این برنامه با اضافه کردن الگوریتم های عددی و به طور خاص برای انتقال رسوب می باشد. برای این کار امکان تولید DLL های جدید وجود دارد.

در طول سال های گذشته، سعی تحقیقات خودم به روی برنامه های CFD، کتابها و نسخه های جدید این برنامه را بر روی پایگاه اینترنتی خود به آدرس <http://folk.ntnu.no/nilsol/cfd> قرار داده ام.

قصد دارم از تمامی افرادی که در مراحل پیشرفت این برنامه و افزایش دانش به من کمک نموده اند تشکر و قدردانی نمایم. من بطور خاص تشکر می کنم از پروسور مورتن ملاین، از انستیتو تکنولوژی تله مارک<sup>۲</sup> که از دانش ایشان در زمینه علم دینامیک، و بیانی جریان CFD بهره گرفته ام. در زمینه هیدرولیک و مهندسی رسوب از پروسور داگفین لیس<sup>۳</sup> از بخش هیدرولیک و محیط زیست دانشگاه علوم و تکنولوژی نروژ، و نیز پروسور پیر جولین<sup>۴</sup> چوئانس گسler<sup>۵</sup>، الن وول<sup>۶</sup> و بوگز بینک یویس<sup>۷</sup> در دانشگاه ایالت کلرادو استفاده و بهره برده ام. و...

Trondheim, 5. November 2011

Nils Reidar Bøe Olsen

<sup>2</sup> Telemark Institute

<sup>3</sup> Dagfinn Lysne

<sup>4</sup> Pierre Julien

<sup>5</sup> Johannes Gessler

<sup>6</sup> Ellen Wohl

<sup>7</sup> Bogusz Bienkiewicz