بسم الله الرحمن الرحيم

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی

دانشکده‌ی مهندسی و فناوری کشاورزی

گروه مهندسی آبیاری و آبادانی

بخش هواشناسی کشاورزی

عنوان گزارش

شرح مدل ریزمقیاس‌نمایی RegCM-4.1 و اجرای آن برای ایستگاه سینوپتیک مشهد

استاد درس

دکتر پرویز ایران نژاد

گردآورندگان

مهرنوش اقتداری محبوبه سلطان‌زاده مریم شفیعی جلیل هلالی

تیر ۱۳۹۳

فهرست

۱- مقدمه ۵

۲-مدل اقلیمی-منطقه‌ای RegCM ۶

۲-۱-پیشینه مدل RegCM ۷

۲-۲-مشخصات مدل RegCM ۹

۲-۳-ساختار افقی و قائم شبکه ۹

۲-۴- معادلات حاکم بر مدل RegCM ۱۰

۲-۵- پیاده‌سازی نقشه و فاکتورهای مقیاس نقشه ۱۱

۲-۶- طرحواره‌های RegCM ۱۱

۲-۶-۱- طرحواره تابش CCM3 ..... ۱۲

۲-۶-۳- طرحواره پوشش سطح زمین ۱۲

۲-۶-۴- طرحواره لایه مرزی سیاره‌ای ۱۲

۲-۶-۵- طرحواره بارش بزرگ مقیاس ۱۲

۲-۶-۶- طرحواره صریح رطوبت ۱۲

۲-۶-۷- طرحواره پارامتره کردن شارهای اقیانوسی ۱۳

۲-۶-۸- طرحواره پارامتره کردن همرفت ۱۳

۲-۷- ساختار اصلی مدل RegCM ۱۴

۲-۷-۱- بخش پیش پردازش ۱۴

۲-۷-۱-۱-Terrain ۱۵

۲-۷-۱-۲-ICBC ۱۸

۲-۷-۲- مدل اصلی RegCM ۲۳

۲-۷-۲-۱- انتخاب گام‌های زمانی مناسب ۲۴

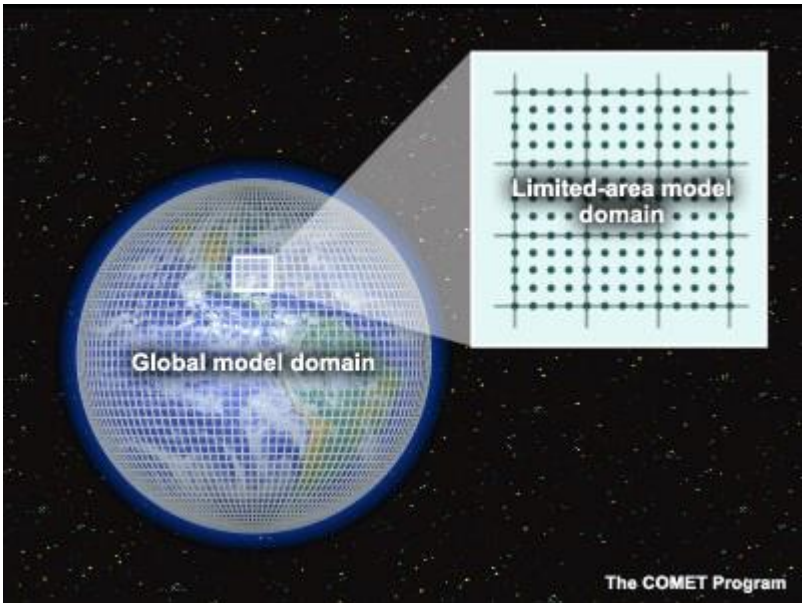
۲-۷-۲-۲- آغاز یک شبیه‌سازی ۲۴

۲-۷-۲-۳- شروع مجدد (restart) یک شبیه‌سازی ۲۷

۲-۷-۳-بخش پس‌پردازش ۲۷
۲-۷-۳-۱- تبدیل داده‌های sigma-level به سطوح فشاری ۲۸
۲-۷-۳-۲- درون‌یابی داده‌های مشاهده‌ای ۲۹
۳- مطالعه موردی ۳۰
۳-۱- نصب RegCM-4.1.tar.gz ۳۰
۳-۲- تعریف یک پروژه ۳۳
۳-۳- پیش‌پردازش و اجرا ۳۴
۳-۴- نتایج ۳۴
۴- منابع ۳۸

۱- مقدمه

مدل‌های آب و هوائی منطقه‌ای سیاره‌ای، پاسخ گردش عمومی به نیروهای بزرگ مقیاس را شبیه‌سازی می‌کنند. وضوح بسیار ضعیف این مدل‌ها در رابطه با فرآیندهای آب و هوای محلی و منطقه‌ای باعث شکل-گیری و گسترش مدل‌های منطقه‌ای شدند. مدل گردش عمومی، کل کره زمین را حوزه مورد مطالعه خود قرار می‌دهد و از آن‌جا که مدل‌های جهانی قادر به آشکارسازی رفتار اقلیم در مقیاس کوچک نیستند، با استفاده از مدل‌های منطقه‌ای می‌توان فرآیندهای کوچک مقیاس و منطقه‌ای را شناسائی ، مطالعه و پیش-بینی کرد. شکل ۱ محدوده مورد مطالعه مدلهای جهانی و منطقه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۱. محدوده موردمطالعه مدل‌های جهانی و منطقه‌ای

کاربست مدل‌های دینامیکی، امکان مطالعه‌ی دقیق‌تر پدیده‌های جوی میان مقیاس و مقیاس منطقه‌ای را در مناطق مختلف جهان فراهم نموده است. این مدل‌ها به عنوان ابزاری کارآمد، درک فرآیندهای دینامیکی حاکم بر وقوع پدیده‌های جوی و اقلیمی را آسان‌تر ساخته‌اند. مدل‌های دینامیکی منطقه محدود، بویژه زمانی که برای پدیده‌های دور از دسترس و یا پدیده‌هایی واقع در مناطق فاقد داده و یا فاقد مشاهدات منظم مورد استفاده قرار می‌گیرند، ارزش و اعتبار خاصی می‌یابند. یکی از مدل‌های منطقه‌ای که در سال-های اخیر مورد استفاده بسیاری از محققان قرار گرفته، مدل RegCM4 می‌باشد. در این گزارش سعی بر آن

است که ابتدا به معرفی این مدل و اجزای مختلف آن و هم‌چنین نحوه اجرای مدل پرداخته خواهد شد و در نهایت نتایج اجرای مدل به صورت موردی برای ایستگاه مشهد برای ماه ژانویه سال ۲۰۰۴ ارائه خواهد شد.

۲-مدل اقلیمی-منطقه‌ای RegCM (Regional Climate Model)

مدل آب و هوائی منطقه ای RegCM برای مدل سازی‌ها و پیش‌بینی‌های بلندمدت منطقه‌ای طراحی شده است و در واقع شکل تکامل یافته مدل عددی MM4 است. نسخه اولیه مدل NCAR RegCM در مرکز ملی پژوهش های جوی دانشگاه پنسیلوانیا در سال ۱۹۸۰ تهیه شد. بخش دینامیکی این مدل از MM4 نشات گرفته است.

ساختار داخلی مدل RegCM طی دهه‌ی گذشته تحول زیادی پیدا کرده است. برخی از طرح‌واره‌های به‌کار رفته در نسخه‌ی فعلی مدل مانند طرح‌واره‌های پوشش سطحی، تابش، بارش‌های بزرگ مقیاس و همرفتی بطور کلی تغییر یافته‌اند تا قابلیت مدل‌سازی فرآیندهای اقلیمی به مدل افزوده گردد. به طوری که هم اکنون مدل اقلیمی RegCM از مدل MM4 کاملاً متمایز شده است. به مدل مذکور طرح‌واره انتگرال گیری نیمه ضمنی زمانی به همراه الگوریتمی برای کاهش اثرات پخش افقی در صورت وجود تغییرات شدید توپوگرافی اضافه شده است. در نتیجه هسته دینامیکی مدل RegCM3 شبیه به نسخه هیدروستاتیکی مدل MM5 است. در جدول ۱ تغییراتی که در مدل‌های مختلف RegCM صورت گرفته است به اختصار آمده است.

جدول ۱- مشخصات نسخه‌های مختلف مدل RegCM

TABLE 1. Description of the progression of the versions of the RegCM system.				
	RegCM1	RegCM2	RegCM2.5	RegCM3
Primary references	Dickinson et al. (1989) Giorgi and Bates (1989)	Giorgi et al. (1993a,b)	Giorgi and Shields (1999) Pal et al. (2000)	
Dynamics	MM4 Anthes et al. (1987)	MM5 (hydrostatic) Grell et al. (1994)	MM5 (hydrostatic) Grell et al. (1994)	MM5 (hydrostatic) Grell et al. (1994)
Radiative transfer	CCM1 Kiehl et al. (1987)	CCM2 Briegleb (1992)	CCM3 Kiehl et al. (1996)	CCM3 Kiehl et al. (1996)
Boundary layer	Local Deardorff (1972)	Nonlocal, counter-gradient Holtslag et al. (1990)	Nonlocal, counter gradient Holtslag et al. (1990)	Nonlocal, counter gradient Holtslag et al. (1990)
Land surface	BATS 1a Dickinson et al. (1986)	BATS 1e Dickinson et al. (1993)	BATS 1e Dickinson et al. (1993)	SUBBATS Giorgi et al. (2003a)
Convective precipitation	Anthes–Kuo Anthes (1977)	Grell (1993) Anthes (1977)	Zhang and MacFarlane (1995) Grell (1993)	MIT (Emanuel 1991) Anthes–Kuo, Grell (1993)
Resolvable precipitation	Implicit Giorgi and Bates (1989)	Explicit Hsie et al. (1984)	SIMEX Giorgi and Shields (1999)	SUBEX Pal et al. (2000)
Aerosols and chemistry	Not available	Not available	Qian and Giorgi (1999) (no dusts)	Solmon et al. (2006) Zakey et al. (2006)

1398 | BAMS SEPTEMBER 2007

۲-۱-پیشینه مدل RegCM

در رابطه با RegCM تحقیقات متعددی انجام شده است، که به طور غالب در بحث های آب و هواشناختی و شبیه سازی آب و هوای منطقه ای و امکان سنجی پیش بینی فصلی، اثر عوارض سطحی کوه و دریا در ویژگی‌های دینامیک و سامانه‌های جو انجام شده‌اند.

به عنوان نخستین پژوهش باید به پژوهش دیکنسون و جیورجی اشاره کرد که در سال ۱۹۸۰ نسخه نخستین RegCM را از روی مدل عددی MM4 به دست آوردند. برای استفاده مدل MM4 در پژوهش‌های آب و هوائی، تعدادی طرحواره فیزیکی پارامتره کردن مرتبط با انتقال تابش و فیزیک سطح در نخستین نسخه از مدل منطقه ای RegCM1 به کار گرفته شد (دیکنسون و همکاران، ۱۹۸۹) و جورجی (۱۹۹۰) در نسخه نامبرده طرحواره بر همکنش جو- زیست کره یا BATS1 برای وارد کردن فرآیندهای سطح زمین، طرحواره تابش CCM1، طرحواره لایه مرزی محلی با تفکیک‌پذیری متوسط، طرحواره فرارفت ابر کومه‌ای نوع کو (انتس و وارنر، ۱۹۷۸) و طرحواره آشکار سازی رطوبت (هی و همکاران) استفاده شد.

جورجی و همکاران در سال ۱۹۹۳ نخستین گام در بهبود بنیادی بخش فیزیکی و عددی طرحواره‌ها را برداشتند و نسخه دوم مدل با عنوان RegCM2 را ارائه دادند. فیزیک RegCM بر پایه مدل میان مقیاس MM5 (گرل و همکاران، ۱۹۹۴) قرار گرفت. از جمله تفاوت‌های نسخه ۲ با نسخه قبلی، جایگزینی طرحواره تابش CCM2، استفاده از طرحواره‌های لایه مرزی غیر محلی (هلتسلگ و همکاران، ۱۹۹۰) که جایگزین طرحواره‌های محلی قبلی شده بود، اضافه شدن طرحواره شار ماده ابرهای کومه‌ای به گزینه‌های مدل و هم‌چنین قرار گرفتن آخرین نسخه BARSLE در مدل بود.

در سال‌های اخیر تعدادی از طرحواره‌های جدید به مدل اضافه شده است که می‌توان به جایگزینی طرحواره انتقال تابشی CCM2 یا نمونه CCM3 آن اشاره کرد. در طرحواره CCM2 اثر CO_2,O_2,O_3,H_2O ابر مد نظر قرار گرفت. در این طرحواره ، تابش خورشیدی بر اساس روش S-Eddington رفتار می‌کند و تابش از سطح ابر به سه عامل پوشش ابر، میزان آب موجود در ابر و شعاع موثر قطرات وابسته است. طرحواره CCM3 علاوه بر حفظ چارچوب کلی CCM2 شامل چند ترکیب جدید هم‌چون گازهای گلخانه‌ای $NO_2,CH_4,CFCs$ و ذرات معلق و ابرهای یخی است.

دیگر تغییرات، در ناحیه ابر و فرایند بارش است. طرحواره صریح رطوبت با نسخه ساده شده آن جایگزین شده است. چون نسخه اصلی و نخستین آن بسیار پیچیده‌تر، حجیم‌تر و با هزینه محاسباتی بالا و بیش از حد لازم یک مدل آب و هوائی است .

نسخه ساده شده تنها شامل معادلات پیش‌یابی برای متغیرهای آب ابر است. هم‌چنین برای محاسبه آستانه تشکیل قطرات آب درون ابر، همرفت و اختلاط به وسیله اغتشاش، تبخیر مجدد در شرایط غیراشباع و تبدیل شدن به باران مورد استفاده قرار می‌گیرد. حال آن‌که در نسخه قبلی، متغیرهای آب ابر، برای محاسبه تابش، حاصل از مزایای رطوبت نسبی محلی بودند.

این ترکیب جدید با اهمیت، برای در نظر گرفتن اثر متقابل چرخه هیدرولوژیکی و بودجه انرژی است. از دیگر ترکیبات جدید در RegCM بهبود مدل دریاچه جفت شده (اسمال و اسلوان، ۱۹۹۹) و وارد کردن

مدل ردیاب با قابلیت محاسبه اثر متقابل تابشی است. هم‌چنین تغییرات و طرحواره‌های دیگری در برگیرنده تغییر در فیزیک مدل، طرحواره ابر و بارش‌های بزرگ مقیاس، پارامتره کردن جدید شارهای سطح اقیانوس، طرحواره فرارفت ابرهای کومه‌ای و نیز پارامتره کردن توپوگرافی و زمین به کار رفته ناهمگون، در مقیاس زیر شبکه جورجی و همکاران ۲۰۰۳ یا به عبارت دیگر اضافه شدن قابلیت اجرای مدل سطح BATS با توان تفکیک بالاتر است.

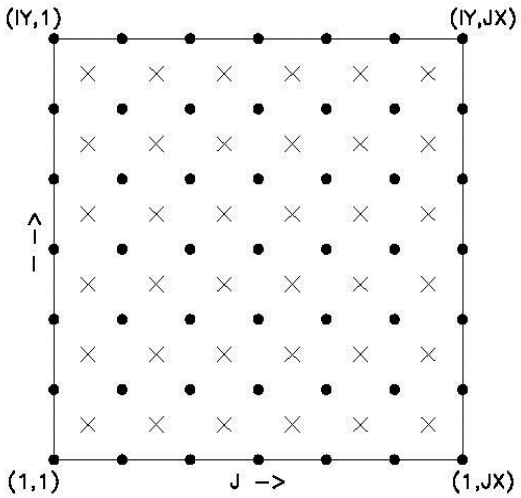
۲-۲-مشخصات مدل RegCM

۱-یک مدل با هسته دینامیکی با قابلیت تراکم پذیری، تفاضل نامتناهی در مشتقات با تعادل هیدرواستاتیک و سیستم مختصات سیگمائی می‌باشد.

۲- این مدل در دامنه مکانی محدود و عموماً در مقیاس زمانی بیشتر از یک ماه استفاده می‌گردد.

۲-۳-ساختار افقی و قائم شبکه:

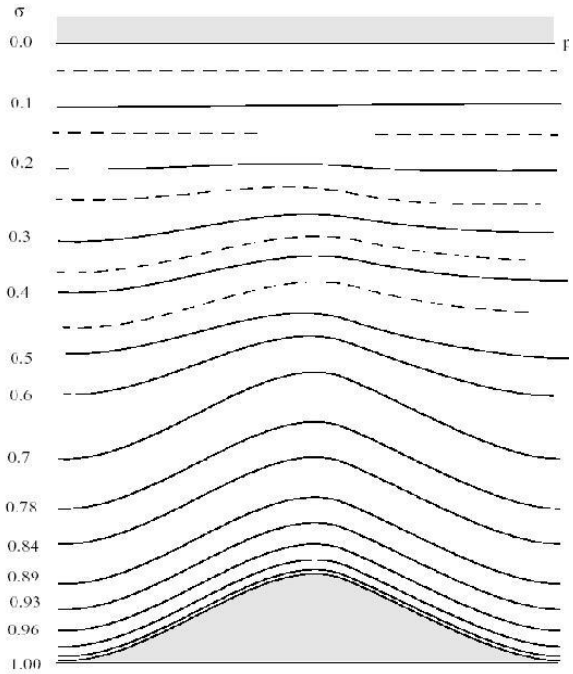
در مدل RegCM شبکه افقی جابجا شده از نوع آراکاوا –B می‌باشد. تمام شاره‌ها بر روی نقاط اصلی شبکه و متغیرهای حالت بر روی نقاط میانی واقع در بین نقاط اصلی شبکه (x) تعریف می‌شود. ویژگی این نوع شبکه دقت بیشتر در محاسبه نیروی گرادیان فشار و واگرائی افقی می‌باشد.



شکل ۲. ساختار افقی مدل RegCM

دستگاه قائم از نوع سیگما بوده و سیگما بین صفر و یک تعریف می شود. دستگاه قائم سیگما، ساختار ناهمواری‌ها در سطح را حفظ و با افزایش ارتفاع تخت‌تر می‌شود (شکل ۳). قدرت تفکیک قائم مدل شامل ۱۸ تراز است که هفت تراز آن زیر لایه ۸۰۰ هکتو پاسکال قرار دارد. گفتنی است در تراز پایین فاصله‌ی کمتری بین ترازها و در تراز بالاتر فاصله هر تراز از تراز بالاتر بیشتر است. این دستگاه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\sigma = \frac{P - P_t}{P_s - P_t}$$



شکل ۳. ساختار قائم مدل RegCM

۲-۴- معادلات حاکم بر مدل RegCM

در زیر خلاصه‌ای از معادلاتی که در مدل RegCM به‌کار گرفته شده‌اند، آمده است. مختصات معادلات در دستگاه سیگما می‌باشد.

The equations of a climate model

$$\frac{\partial \overline{V}}{\partial t} + \overline{V} \cdot \nabla \overline{V} = -\frac{\nabla p}{\rho} - 2\overline{\Omega} \times \overline{V} + \overline{g} + \overline{F}_{\overline{V}}$$

Conservation of momentum

$$C_p\left(\frac{\partial T}{\partial t} + \overline{V} \cdot \nabla T\right) = \frac{1}{\rho}\frac{dp}{dt} + Q + F_T$$

Conservation of energy

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \overline{V} \cdot \nabla \rho = -\rho \nabla \cdot \overline{V}$$

Conservation of mass

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \overline{V} \cdot \nabla q = \frac{S_q}{\rho} + F_q$$

Conservation of water

$$p = \rho R T$$

Equation of state

۲-۵- پیاده‌سازی نقشه و فاکتورهای مقیاس نقشه

در این مدل امکان استفاده از چهار نوع تبدیل نقشه وجود دارد. لامبرت تطبیقی (Lambert Conformal) که برای عرض‌های میانی (Mid-Latitude) مناسب است. قطبی (Polar Stereography) و مرکاتور معمولی (Normal Mercator) برای عرض‌های پایین و مرکاتور چرخیده برای انتخاب‌های خاص. جهت محورهای X و Y در مدل مرکاتور معمولی منطبق بر شرق-غرب و شمال-جنوب نیست. با توجه به این شیوه، پیاده‌سازی نقشه جهت بادها در راستای شبکه بندی مدل چرخش دارد و مقادیر u و v باید قبل از مقایسه با مشاهدات در جهت صحیح چرخش یابد. این تعدیلات درون مدل، در قسمت پیش پردازشگر که داده‌ها را بر روی نقاط شبکه می‌برد و در پس پردازشگر محاسبه می‌شوند.

۲-۶- طرحواره‌های RegCM

در مدل **RegCM** هر کدام از طرحواره‌ها خود در بردارنده یک یا چند زیر برنامه است. در ادامه به معرفی کوتاهی از طرحواره‌های به کار رفته در مدل پرداخته خواهد شد.

۲-۶-۱- طرحواره تابش CCM3

این طرحواره با استفاده از تقریب دلتا - ادینگتون و در نظر گرفتن اثر O_2,H_2O,CO_2,O_3، تابش را پارامتری می‌کند که طول موج طیفی در بازه ۰/۲ تا ۵ میکرومتر را شامل می‌شود (کینل و همکاران، ۱۹۹۶).

۲-۶-۳- طرحواره پوشش سطح زمین

پارامتره کردن فرآیندهای فیزیکی سطح زمین با استفاده از طرحواره BATS1 (طرحواره جو – بیوسفر) انجام می شود. BATS طرحواره بسیار خوبی است که برای بیان نقش گیاهان و فعل و انفعالات رطوبت خاک در تعدیل تبادل انرژی، اندازه حرکت و بخار آب بین جو و سطح زمین طراحی شده است. مدل دارای لایه‌های پوشش گیاهی، برف، خاک سطحی به ژرفای ۱۰ سانتیمتر، لایه خاک به ضخامت ۱ تا ۲ متر و عمق لایه خاک با ضخامت ۳ متر است. معادله پیش‌بینی دماهای لایه‌های خاک به روش دیردوف(۱۹۷۸) انجام می‌شود.

۲-۶-۴- طرحواره لایه مرزی سیاره‌ای

بر مبنای مفهوم پخش غیر متمرکز، گرادیان شارهای پیچکی را در اثر پیچک‌های بزرگ مقیاس در جو ناپایدار به دست می‌دهد. این طرحواره توسط هولتسلاگ و همکاران (۱۹۹۰) محاسبه و ارائه شده است.

۲-۶-۵- طرحواره بارش بزرگ مقیاس

این طرحواره بارش‌ها و ابرهای غیرهمرفتی آشکارسازی می‌کند. در این طرحواره میزان میانگین رطوبت نسبی در هر شبکه با توجه به ابرناکی آن شبکه محاسبه می‌شود.

۲-۶-۶- طرحواره صریح رطوبت

میزان گرمایش دررو به واسطه تبخیر از بارش را پارامتره می کند و در زیر برنامه CONDT9 قرار گرفته است.

۲-۶-۷- طرحواره پارامتره کردن شارهای اقیانوسی

در این طرحواره که نتیجه تلاش‌های زنگ و همکاران (۱۹۹۸) است. شارهای گرمای محسوس و گرمای نهان و تکانه که از سطح دریا به لایه‌های پایین جو منتقل می‌شود، به کمک روابط زیر به دست می-آید.

۲-۶-۸- طرحواره پارامتره کردن همرفت :

درمدل RegCM سه طرحواره همرفت به شرح زیر استفاده می‌شوند:

الف) طرحوراه کو- آنتس

در این طرحواره همگرائی رطوبت در ستون قائم به عنوان واداشت میدان بزرگ مقیاس فرض می‌شود و زمانی که این مقدار از حد مشخصی گذشت، همرفت آغاز می‌شود. هم‌چنین در این طرحواره فرض می-شود که اگر M رطوبت همگرا شده در ستون قائم سلول شبکه باشد، نسبت b از این رطوبت موجب افزایش رطوبت ستون و بقیه آن (1-b) متراکم می‌شود و در همان لحظه می‌بارد.

ب)طرحواره بتس – میلر

اثر همرفت به شکل اصلاح نمایه قائم رطوبت و دماست به طوری که در نهایت به نمایه مرجع تبدیل شود. این نمایه مرجع با مشاهده و به شکل تجربی و بر مبنای شرط شبه تعادل حاصل می‌شود و منحنی آن از روش یک رابطه تجربی و بر مبنای ارتفاع پایه ابر و لایه انجماد تعیین خواهد شد.

شرط شبه تعادل به این معناست که ابرهای همرفتی به عنوان قیدی بر میدان دما و رطوبت ویژه جو هستند که اثر جریانات بزرگ مقیاس سعی در ناپایدار کردن آنها دارد. پایه مشاهداتی این طرحواره به این معناست که نمایه قائم دما در زیر لایه انجماد، موازی خط دمای پتانسیل مجازی هم ارز است. بنابراین در زیر این ارتفاع یا در وردسپهر پایین آهنگ سرمایش بر خلاف فرض‌های دیگر که بی درو مرطوب فرض می-کنند، به شکل مجازی بی دررو مرطوب است. در بالای این ارتفاع، دوباره نمایه قائم دما، موازی با دمای پتانسیل می‌شود.

ج) طرحواره گرل

در بردارنده دو بستار ۱) اراکاوا- شوبرت و ۲) فریچ – چیل است. در این طرحواره دو جریان پایای بالارو و پایین رو درون ابر در نظر گرفته خواهد شد و فرض می‌شود که هیچ اختلاطی بین ابر و محیط آن به جز در قله و پایه ابر رخ نمی‌دهد. به عبارت دیگر شار قائم ماده با ارتفاع تغییر نمی‌کند. محل رخداد جریان-های بالارو و پایین رو به ترتیب با استفاده از نقاط بیشینه و کمینه انرژی ایستائی مرطوب بدست می‌آید.

۲-۷- ساختار اصلی مدل RegCM

۱- بخش پیش پردازش (Preprocessing)
۲- مدل اصلی (RegCM/main)
۳- بخش پس پردازش (Post processing)

۲-۷-۱- بخش پیش پردازش

بخش پیش پردازشگر داده‌های مربوط به شرایط مرزی و شرایط آغازین را بر روی شبکه مورد نظر کاربر، در طول و عرض جغرافیائی تعیین شده، درون‌یابی می‌کند. پارامترهای دیگری نظیر فاکتور نقشه یا نیروی کوریولیس نیز در این قسمت محاسبه می‌شود. از طرفی مشخصات سطحی زمین مانند جنس خاک، پوشش گیاهی، توپوگرافی و پوشش برف بر روی شبکه درون‌یابی می‌شود.

قبل از اجرای یک شبیه‌سازی اقلیمی منطقه‌ای، دو گام پیش‌پردازش باید کامل شوند. اولین گام مربوط به تعریف حوزه (domain) و فواصل شبکه و درون‌یابی داده‌های کاربری زمین و ارتفاع در شبکه مدل است. این گام در زیر شاخه RegCM /preproc/Terrain اجرا می‌شود.

در گام دوم فایل‌هایی برای شرایط اولیه و مرزی طی شبیه‌سازی ایجاد می‌شوند. این گام در زیر شاخه RegCM/preproc/ICBC اجرا می‌شود. همه داده‌های ورودی مورد نیاز برای اجرای مدل از تارنمای pwc به آدرس URL زیر قابل دسترسی است:

http://www.ictp.ictp.triste.it/~pubrgcm/regcm

داده‌های ورودی مورد نیاز در برنامه‌های Terrain و ICBC در زیر فهرست RegCM/preproc/DATA ذخیره می‌شوند. یک برنامه اجرائی به نام datalinker.x در این زیر فهرست انجام می‌شود تا داده‌ها در هر جای دیگر که باشند به این زیر فهرست لینک شوند. نسخه جدید RegCM تحت سیستم عامل لینوکس و بر روی IBM،SGI،SUN،DEC،PC-LINUX با کامپایلرهای PGI یا IFC قابل اجرا است.

با توجه به نوع کامپایلر مورد استفاده، باید Makfile متناسب با آن در فهرست‌های Main/directories, Preproc/Terrain,PrepProc/ICBC انتخاب و کپی شود.

مدل RegCM برای اجرا، به داده‌های توپوگرافی، پوشش سطح زمین، دمای سطح دریا و شرایط اولیه و مرزی نیاز دارد. RegCM از داده‌های GLCC,GTOPO برای اطلاعات پوشش گیاهی و توپوگرافی، دمای سطح آب و یخ در مقیاس جهانی (GISST) و داده‌های OISST به صورت هفتگی و با دقت یک درجه (در طول و عرض جغرافیائی) برای داده‌های SST استفاده می‌کند (تارنمای (ICTP/RegCM).

برای انتخاب شرایط اولیه و مرزی از داده‌های NNRP1 که توسط مرکز ملی پیش بینی های محیطی NCEP با دقت ۲/۵ درجه برای دوره ۱۹۴۸ تا ۲۰۰۱ تهیه شده است، استفاده می‌شود (بانک اطلاعات سازمان ملی هواشناسی و اقیانوس شناسی آمریکا، ۲۰۰۵). بارش خروجی مدل با داده‌های واقعی بارش و CMAP که با دقت ۲/۵ درجه و به صورت میانگین ماهانه موجود است ، مقایسه می‌شود.

Terrain-۱-۱-۷-۲

برنامه Terrain، داده‌های نوع پوشش و ارتفاع سطح زمین را از شبکه طولی- عرضی بر روی نقاط شبکه کارتزین حوضه مورد مطالعه، درون‌یابی می‌کند. چندین نکته برای انتخاب قدرت تفکیک دامنه حوضه، پیش‌بینی و تفکیک‌پذیری وجود دارد. با توجه به این‌که RegCM مدلی هیدرواستاتیکی است، پس فواصل افقی نقاط شبکه احتمالا کمتر از ۱۰ کیلومتر نخواهد بود. به طور کلی، سیستم مخروطی لامبرت برای مناطق با عرض‌های میانی و بالای جغرافیایی استفاده می‌شود، در حالی که سیستم تصویر مرکاتور عادی و مرکاتور معکوس در مناطق استوایی و جنب حاره استفاده می‌شوند. نکته مهم در هنگام انتخاب نقطه مرکزی

مدل (clon-clat) و طرح‌ریزی نقشه، برای تمام دامنه فاکتور نقشه این است که تا حد ممکن نزدیک‌تر به ۱ باشد. که این موضوع برای پایداری مدل محاسباتی مفید خواهد بود.

عامل نقشه باید با استفاده از فایل‌های DOMAIN-INFO, DOMAIN-INFO.CTL در GrADS بررسی شود. انتخاب دامنه مدل به منطقه مورد مطالعه و کاربری زمین بستگی دارد. قابلیت مدل منطقه‌ای ترکیبی از شرایط مرزی حدی و فیزیک مدل داخلی است. با انتخاب یک حوزه کوچک‌تر، شرایط مرزی جانبی کنترل بیشتری را اعمال می‌کنند. برای مطالعات تحلیل حساسیت مثل تغییر پوشش سطحی و رطوبت خاک، یک حوزه بزرگ‌تر ارجحیت دارد، زیرا سبب آزادی درونی بیشتر در پاسخ به تغییرات به کار گرفته شده می‌شود (ست و جیورجی، ۱۹۹۸). مساله هزینه‌های محاسباتی و مدیریت داده‌های خروجی نیز مهم است. با دو برابر کردن تعداد نقاط شبکه افقی زمان محاسباتی و تعداد داده‌های خروجی (با فرض فواصل شبکه افقی یکسان) بیشتر از چهار برابر می‌شود. معذلک، توجه به این نکته ضروری است که حجم داده‌های ذخیره‌ای می‌تواند با اجرای شبیه‌سازی در بلندمدت خیلی زیاد شود.

برنامه Terrain داده‌های کاربری زمین و ارتفاع را به طور افقی از روی شبکه (با مختصات عرض جغرافیایی- طول جغرافیایی) به شبکه کارتزین حوزه منتخب درون‌یابی می‌کند. RegCM در حال حاضر برای داده‌های پوشش گیاهی/ کاربری ارضی از داده‌های Global Land Cover Characterization (GLCC) استفاده می‌کند. داده‌های GLCC از داده‌های ماهواره AVHRR با قدرت تفکیک ۱km استخراج شده‌اند که بر اساس انواع پوشش گیاهی/ کاربری اراضی تعریف شده توسط BATS (طرحواره انتقال بیوسفر-اتمسفر) است. ۲۰ نوع پوشش گیاهی/ سطحی و پارامترهای مربوطه در جداول ۲ و ۳ آمده است.

جدول ۲- طبقات پوشش گیاهی/ سطحی

1.	Crop/mixed farming
2.	Short grass
3.	Evergreen needleleaf tree
4.	Deciduous needleleaf tree
5.	Deciduous broadleaf tree
6.	Evergreen broadleaf tree
7.	Tall grass
8.	Desert
9.	Tundra
10.	Irrigated Crop
11.	Semi-desert
12.	Ice cap/glacier
13.	Bog or marsh
14.	Inland water
15.	Ocean
16.	Evergreen shrub
17.	Deciduous shrub
18.	Mixed Woodland
19.	Forest/Field mosaic
20.	Water and Land mixture

به هر یک از سلول‌های شبکه مدل یکی از طبقات پوشش گیاهی اختصاص داده می‌شود. اطلاعات بیشتر درمورد داده‌های GLCC از سایت http://edcdaac.usgs.gov/glcc/glcc.html قابل دستیابی می-باشد.

RegCM برای داده‌های ارتفاعی از داده‌های United States Geological Survey (USGS) استفاده می‌کند. هر دو سری داده‌های کاربری اراضی و ارتفاع با تفکیک‌پذیری‌های ۶۰، ۳۰، ۱۰، ۵، ۳ و ۲ دقیقه موجود و از وب سایت ICTP PWC (http://www.ictp.trieste.it/~pubregcm/RegCM3/globedat.htm) قابل دانلود هستند.

پارامترهایی مثل اندازه حوزه، داده‌های ورودی و طول دوره شبیه‌سازی در فایل domain.param و در زیر شاخه /RegCM/PreProc/Terrain تعریف می‌شوند (جدول ۳). پس از ویرایش این فایل، با اجرای فایل متنی terrain.x برنامه terrain اجرا خواهد شد. با اجرای این برنامه فایل خروجی DOMAIN.INFO که شامل متغیرهای ارتفاع، نوع کاربری اراضی و سایر متغیرها است، در زیرشاخه RegCM/Input ایجاد می‌شود (جدول ۳). یک فایل توصیفگر GrADS به نام DOMAIN.CTL نیز ایجاد می‌شود.

جدول ۳ - پوشش گیاهی/ سطحی طرحواره BATS

Parameter	Land Cover/Vegetation Type																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Max fractional vegetation cover	0.85	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90	0.80	0.00	0.60	0.80	0.35	0.00	0.80	0.00	0.00	0.80	0.80	0.80	0.80
Difference between max fractional vegetation cover and cover at 269 K	0.6	0.1	0.1	0.3	0.5	0.3	0.0	0.2	0.6	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.3	0.2	0.4	0.4
Roughness length (m)	0.08	0.05	1.00	1.00	0.80	2.00	0.10	0.05	0.04	0.06	0.10	0.01	0.03	0.0004	0.0004	0.10	0.10	0.80	0.3
Displacement height (m)	0.0	0.0	9.0	9.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Min stomatal resistence (s/m)	45	60	80	80	120	60	60	200	80	45	150	200	45	200	200	80	120	100	120
Max Leaf Area Index	6	2	6	6	6	6	6	0	6	6	6	0	6	0	0	6	6	6	6
Min Leaf Area Index	0.5	0.5	5	1	1	5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0	5	1	3	0.5
Stem (dead matter area index)	0.5	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	0.5	0.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Inverse square root of leaf dimension ($m^{-1/2}$)	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Light sensitivity factor (m^2 W^{-1})	0.02	0.02	0.06	0.06	0.06	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.02
Upper soil layer depth (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Root zone soil layer depth (mm)	1000	1000	1500	1500	2000	1500	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	2000	2000
Depth of total soil (mm)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Soil texture type	6	6	6	6	7	8	6	3	6	6	5	12	6	6	6	6	5	6	6
Soil color type	5	3	4	4	4	4	4	1	3	3	2	1	5	5	5	4	3	4	4
Vegetation albedo for wavelengths $< 0.7\ \mu m$	0.10	0.10	0.05	0.05	0.08	0.04	0.08	0.20	0.10	0.08	0.17	0.80	0.06	0.07	0.07	0.05	0.08	0.06	0.06
Vegetation albedo for wavelengths $> 0.7\ \mu m$	0.30	0.30	0.23	0.23	0.28	0.20	0.30	0.40	0.30	0.28	0.34	0.60	0.18	0.20	0.20	0.23	0.28	0.24	0.18

ICBC-۲-۱-۷-۲

برنامه ICBC داده های سطح دریا (SST) و داده های جهانی را درون شبکه مدل درون‌یابی می‌کند.

- دمای سطح دریا

در فایل چند گزینه برای داده‌های SST شامل داده‌های شبکه‌ای ماهانه یک درجه‌ای دمای سطح دریا (GISST) وجود دارد که در وب‌سایت اداره مرکزی هواشناسی Hadley (http://badc.nerc.ac.uk/data/gisst) موجود هستند. همچنین داده‌های یک درجه‌ای دمای سطح دریا مربوط به اداره ملی اقیانوس و جو (OISST) در مقیاس‌های هفتگی و ماهانه در وب‌سایت

http://www.cdc.noaa.gov موجود هستند. بعلاوه، داده‌های SST برای اجرای سناریوهای تغییر اقلیم نیز ممکن است استفاده شوند.

- داده‌های شرایط اولیه و شرایط مرزی جانبی

در فایل RegCM/PreProc/Terrain/domain.param چند سری داده وجود دارند که برای شرایط اولیه و مرزی می‌توان انتخاب کرد:

- ECMWF) The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (Reanalysis datasets (T42,L15) from 1993–1997
- ERA40) ECMWF 40 year reanalysis datasets (2.5 degree grid,L23) from (1957–2002
- ERAHI) ECMWF 40 year reanalysis datasets, original model level fields: T, U, V and log(Ps) are in spectral coefficients; orography and Q are at the reduced (Gaussian grids. T159L60 (N80L60) from 1957–2002
- NNRP1) The National Center for Environmental Prediction (NCEP) (Reanalysis datasets (2.5 degree grid, L17) from 1948–present.
- NNRP2) The National Center for Environmental Prediction (NCEP) (Reanalysis datasets (2.5 degree grid, L17) from 1979–2005.
- NRP2W (پنجره کوچک (به جای جهانی) NNRP2 برای ذخیره فضای دیسک (برای نمونه، پنجره آفریقا: 40W to 80E, 60S to 70N)
- FVGCM (برای آزمایشات تغییر اقلیم می‌توانید از خروجی‌های GCM مربوط به NASA-NCAR استفاده کنید. در اینجا FVGCM (1 x 1.25 degree grid, L18) در ICTP اجرا شده و خروجی‌های حاصل از ۳۰ شبیه‌سازی موجودند.)
- EH50M) From EC-Hamburg coupled GCM IPCC AR4 experiments (AGCM: MPI-OMGR1.5 256x220L40; Coupler: OASIS), 20C Echam5, T63L31; OGCM: (1950-2000) and A1B (2001-2100) IPCC Emission Senario, T63, reformated pressure (layer data
- FNEST: یک گزینه لانه‌بندی یک طرفه برای شبیه‌سازی‌های با قدرت تفکیک بالا موجود است که در آن خروجی یک شبیه‌سازی با تفکیک‌پذیری کم استفاده می‌شوند تا مدل را در یک زیربخش با قدرت تفکیک بالاتر اجرا کند.

- شرایط مرزی جانبی

روش عددی مرزهای جانبی پیچیده است، اما یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مدل اقلیمی منطقه‌ای است. پنج نوع شرایط مرزی وجود دارد که در مدل قابل استفاده هستند. نوع شرایط مرزی استفاده شده در شبیه-سازی در فایل RegCM/PreProc/Terrain/domain.param انتخاب می‌شود. گزینه‌ها عبارتند از:

- Fixed: این گزینه اجازه تغییرات زمانی در مرزهای جانبی را نمی‌دهد. بنابراین برای کاربردهای real-data قابل توصیه نیست.
- Time-dependent: دو ردیف و ستون بیرونی مقادیر همه میدان‌های پیش‌بینی‌شده را تعیین کرده-اند. برای لانه‌ها یعنی جایی که مقادیر وابسته به زمان بوسیله حوزه اصلی تامین می‌شود، توصیه می-شود. برای شبکه‌های با تفکیک‌پذیری کم یعنی جایی که تنها یک ردیف وستون خارجی تعیین می-شود، توصیه نمی‌شود.
- Sponge: پرکی و کریتزبرگ (۱۹۷۶)
- Exponential relaxation: دیویس و ترنر (۱۹۷۷) (پیش‌فرض)

- اجرای ICBC

نیازی به تغییر هیچ فایلی در زیرشاخه RegCM/PreProc/ICBC نیست. برنامه‌های SST-1DEG.f و ICBC.f داده‌های SST و داده‌های جهانی را درون شبکه مدل درون‌یابی می‌کنند. با اجرای فایل متنی icbc.x این برنامه‌ها اجرا می‌شوند و فایل‌های خروجی زیر تولید می‌شوند:

RegCM/Input/ICBC.YYYYMMDDHH (جدول ۴)

RegCM/Input/ICBC.YYYYMMDDHH.CTL

به هرحال، اگر شما یک شبیه‌سازی را آغاز کنید اما نیاز به تغییر حوزه‌تان نداشته باشید، به آسانی می‌توانید قبل از اجرای فایل متنی icbc.x پارامترهای تاریخ را در فایل icbc.param در زیرشاخه RegCM/PreProc/ICBC تغییر دهید.

جدول ۴- لیست متغیرهای تعریف شده در فایل domain.param

Parameter	Description
iproj	map projection 'LAMCON' = Lambert Conformal 'POLSTR' = Polar Stereographic 'NORMER' = Normal Mercator 'ROTMER' = Rotated Mercator
iy	number of grid points in y direction (i)
jx	number of grid points in x direction (j)
kz	number of vertical levels (k)
nsg	number of subgrids in one direction
ds	grid point separation in km
ptop	pressure of model top in cb
clat	central latitude of model domain in degrees
clon	central longitude of model domain in degrees
plat	pole latitude (only for rotated mercator projection)
plon	pole longitude (only for rotated mercator projection)
truelatL	Lambert true latitude (low latitude side)
truelon	Lambert true latitude (high latitude side)
ntypec	resolution of the global terrain and land-use data 60 = 1 degree 5 = 5 minute 30 = 30 minute 3 = 3 minute 10 = 10 minute 2 = 2 minute
ntypec_s	same as ntypec, except for subgrid
h2opct	if water percentage < h2opct, then land else water
ifanal	true=perform cressman-type objective analysis false=perform 16-point overlapping parabolic interpolation
smthbdy	true=extra smoothing in boundaries
lakadj	true=adjust lake levels according to obs
igrads	true=output GrADS control file
ibigend	1 = big-endian (always 1)
ibyte	for direct access open statements (1 or 4) 1 for IFC8, SGI, DEC; 4 for PGI, IFC7, SUN, IBM
FUDGE_LND	land use fudge, true or false
FUDGE_TEX	texture fudge, true or false
FUDGE_LND_s	land use fudge for subgrid, true or false
FUDGE_TEX	texture fudge for subgrid, true or false
filout	terrain output filename including path
filctl	GrADS control filename for output including path
IDATE1	beginning date of simulation (YYYYMMDDHH)
IDATE2	ending date of simulation (YYYYMMDDHH)
DATTYP	global analysis dataset 'ECMWF' 'ERA40' 'ERAHI' 'NNRP1' 'NNRP2' 'NRP2W' 'FVGCM' 'FNEST' 'FH50M'
SSTTYP	SST dataset 'GISST' 'OISST' 'OI_NC' 'OI_WK' for FVGCM: 'FV_RF' 'FV_A2' for ECHAM GCM: 'EH5RF' 'EH5A2'
LSMTYP	LANDUSE legend, 'BATS' or 'USGS'
AERTYP	AEROSOL datasets: 'AER00D0' Neither aerosol, nor dust used 'AER01D0' Biomass, SO2 + BC + OC, no dust 'AER10D0' Anthropogenic, SO2 + BC + OC, no dust 'AER11D0' Anthropogenic+Biomass, SO2 + BC + OC, no dust 'AER00D1' No aerosol, with dust 'AER01D1' Biomass, SO2 + BC + OC, with dust 'AER10D1' Anthropogenic, SO2 + BC + OC, with dust 'AER11D1' Anthropogenic+Biomass, SO2 + BC + OC, with dust
ntex	Number of SOIL TEXTURE categories, 17
NPROC	Number of CPU used for parallel run.

جدول ۵- لیست متغیرهای خروجی terrain

Variables	Description
ht	Surface elevation (m)
htsd	Surface elevation standard deviation
landuse	Surface landuse type
xlat	Latitude of cross points
xlon	Longitude of cross points
dlat	Latitude of dot points
dlon	Longitude of dot points
xmap	Map factors of cross points
dmap	Map factors of dot points
coriol	Coriolis force
snowam	Initial snow amount
mask	land/sea mask
texture	Soil texture

جدول ۶- لیست متغیرهای فایل ICBCYYYYMMDDHH

Variables	Description
date	Date of simulation (header information)
u	Westerly wind (m s^{-1})
v	Southerly wind (m s^{-1})
t	Air temperature (K)
q	Specific moisture (kg kg^{-1})
px	Surface pressure (10hPa, or cb)
ts	Surface air temperature (K)

جدول ۷- لیست گزینه‌های فیزیکی در فایل regcm.in

Physics parameter	Description
iboudy	lateral boundary conditions; 0=fixed, 1=relaxation (linear), 2=time dependent, 3=time and inflow/outflow dependent 4=sponge, 5=relaxation (exponential)
ibltyp	planetary boundary layer scheme; 1=Holtslag
icup	cumulus scheme; 1=Anthes-Kuo, 2=Grell, 4=MIT-Emanuel
igcc	Grell Scheme Convective Closure Scheme; 1=Arakawa & Schubert, 2=Fritsch & Chappell
ipptls	Large-scale precipitation scheme; 1=SUBEX
iocnflx	ocean flux parameterization scheme; 1= BATS, 2=Zeng
ipgf	pressure gradient scheme; 0=normal way, 1= hydrostatic deduction
lakemod	Lake model; 0=no, 1=yes
ichem	Tracer/Chemistry model; 0=no, 1=yes
Chemistry parameters	**Description**
idirect	direct radiative effect of aerosols
chtrname	Chemistry tracer name
chtrsol	fraction of tracer by wet removal
chtrdpv	dry deposition velocities over land/ocean
dustbsiz	dust-bin size range

۲-۷-۲- مدل اصلی RegCM

کد منبع مدل در زیرشاخه RegCM/Main قرار دارد. زیرشاخه RegCM/Commons شامل دو فایل ضروری برای شروع یک شبیه‌سازی است (regcm.in و regcm.x). گزینه‌های فیزیکی و پارامترهای تاریخ، گام زمانی و فراوانی خروجی و غیره (جدول ۶ و ۷) در فایل regcm.in انتخاب می‌شوند.

جدول ۸- لیست پارامترهای شروع مجدد، گام زمانی و متغیرهای خروجی تعریف شده در فایل regcm.in

Restart parameters	Description
ifrest	true or false for restart simulation
idate0	start date of first simulation
idate1	restart date
idate2	end date of restart simulation
nslice	number of days for next model run
Timestep parameters	**Description**
radfrq	time step for radiation model
abemh	time step for LW absorption/emissivity
abatm	time step for lsm
dt	time step for atmosphere model
ibdyfrq	lateral boundary conditions frequency
Output parameters	**Description**
ifsave	save output for restart
savfrq	time interval to save output for restart (hr)
iftape	save atmospheric output
tapfrq	time interval to save atmospheric output (hr)
ifrad	save radiation output
radisp	time interval to save radiation output (hrs)
ifbat	save surface model output
ifsub	save sub-bats model output
batfrq	time interval to save surface model output (hrs)
ifprt	printer output
prtfrq	time interval for printer output (hrs)
kxout	k level of horizontal slice for printer output
jxsex	j index of the north-south vertical slice for printer output
iotyp	Output format; 1=direct access, 2=sequential
ibintyp	1=big_endian, 2=little_endian
ifchem	save tracer model output
chemfrq	time interval to save tracer model output (hrs)

۲-۷-۲-۱- انتخاب گام‌های زمانی مناسب

چند قانون کلی برای انتخاب گام‌های زمانی مناسب برای شبیه‌سازی وجود دارد. پارامترهای گام زمانی زیر در فایل regcm.in تعریف می‌شوند:

- radfrq: گام زمانی برای مدل تابش بر حسب دقیقه
- abemh: گام زمانی برای جذب/گسیل LW بر حسب ساعت
- abatm: گام زمانی برای مدل سطح زمین بر حسب ثانیه
- dt: گام زمانی برای مدل جو بر حسب ثانیه

گام زمانی برای مدل جو (dt) باید حدود سه برابر تفکیک‌پذیری افقی حوزه شما بر حسب km باشد. بنابراین اگر قدرت تفکیک شبیه‌سازی شما ۶۰ km است، dt باید حدود ۱۸۰ ثانیه باشد. در اینجا ما می‌توانیم گام زمانی را اندکی تا ۲۰۰ ثانیه افزایش دهیم. افزایش گام زمانی زمان اجرا مدل را برای شبیه‌سازی کاهش می‌دهد اما باید توجه کرد که اگر گام زمانی شما خیلی بزرگ باشد مدل متوقف می‌شود. سپس radfreq، abemh و abatm همگی باید قابل تقسیم بر dt باشند. در این مورد، تنظیم کردن radfreq به ۳۰ دقیقه، abemh به ۱۸ دقیقه و abatm به ۵۴۰ منطقی است. جدول ۹ مثال‌های بیشتری را در مورد انتخاب گام زمانی برای تفکیک‌پذیری‌های افقی مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۹- گام زمانی برای تفکیک‌پذیری‌های مختلف

dx(km)	dt(sec)	abatm(sec)	abemh(hr)	radfrq(min)
10	30	90	18	30
20	60	120	18	30
30	100	300	18	30
45	150	300	18	30
50	150	450	18	30
60	200	600	18	30
90	225	900	18	30

۲-۷-۲-۲- آغاز یک شبیه‌سازی

فایل متنی regcm.x مدل را اجرا می‌کند. توصیه می‌شود که یک شاخه جدید برای پروژه‌های معین ایجاد کرده و این دو فایل را درون این شاخه پروژه جدید کپی کنید. با اجرای این فایل متنی:

- اتصالاتی بین فایل حوزه و فایل‌های شرایط اولیه و مرزی ایجاد می‌شود:

fort.10 → ../Input/DOMAIN

fort.10x → ../Input/ICBCYYYYMMDDHH

- یک زیرشاخه به نام output ایجاد می‌شود که فایل‌های خروجی در آن نوشته می‌شوند.
- فایل postproc.in ایجاد می‌شود که برای پس‌پردازش فایل‌های خروجی مورد نیاز است.
- کد منبع کامپایل می‌شود و شبیه‌سازی آغاز می‌شود.

با اجرای مدل، فایل‌های خروجی ماهانه زیر ایجاد می‌شوند:

- خروجی مدل جو (جدول ۱۰): ATM.YYYYMMDDHH
- خروجی مدل سطح زمین (جدول ۱۱): SRF.YYYYMMDDHH
- خروجی مدل تابش (جدول ۱۲): RAD.YYYYMMDDHH
- خروجی مدل شیمی (جدول ۱۳) (در صورت اجرای مدل شیمی): CHE.YYYYMMDDHH
- فایل restart: SAVTMP.YYYYMMDDHH یا SAV.YYYYMMDDHH

جدول ۱۰- خروجی مدل جو

Variables	Description
u	Eastward wind (m s^{-1})
v	Northward wind (m s^{-1})
w	Omega (hPa) p-velocity
t	Temperature (K)
qv	Water vaporMixing ratio (g kg^{-1})
qc	Cloud water mixing ratio (g kg^{-1})
psa	Surface pressure (Pa)
tpr	Total precipitation (mm)
tgb	Lower soil layer temp (K)
smt	Total soil water (mm)
rno	Base flow (mm day^{-1})

جدول ۱۱- خروجی مدل سطح زمین

Variables	Description
u10m	Anemometer eastward wind (m s^{-1})
v10m	Anemometer northward wind (m s^{-1})
uvdrag	Surface drag stress
tgb	Ground temperature (K)
tlef	Foliage temperature (K)
t2m	Anemometer temperature (K)
q2m	Anemometer specific humidity kg kg^{-1}
ssw	Top layer soil moisture (mm)
rsw	Root layer soil moisture (mm)
tpr	Total precipitation (mm day^{-1})
evp	Evapotranspiration (mm day^{-1})
runoff	Surface runoff (mm day^{-1})
scv	Snow water equivalent (mm)
sena	Sensible heat (W m^{-2})
flw	Net longwave (W m^{-2})
fsw	Net solar absorbed (W m^{-2})
flwd	Downward longwave (W m^{-2})
sina	Solar incident (W m^{-2})
prcv	Convective precipitation (mm day^{-1})
psb	Surface pressure (Pa)
zpbl	PBL height (m)
tgmax	maximum ground temperature (K)
tgmin	minimum ground temperature (K)
t2max	maximum 2m temperature (K)
t2min	minimum 2m temperature (K)
w10max	maximum 10m wind speed ($m\ s^{-1}$)
psmin	minimum surface pressure (hPa)

جدول ۱۲- خروجی مدل تابش

Variables	Description
fc	Cloud fraction (fraction)
clwp	Cld liquid H_2O path (g m^{-2})
qrs	Solar heating rate (K s^{-1})
qrl	LW cooling rate (K s^{-1})
fsw	Surface abs solar (W m^{-2})
flw	LW cooling of surface (W m^{-2})
clrst	Clear sky col abs sol (W m^{-2})
clrss	Clear sky surf abs sol (W m^{-2})
clrlt	Clear sky net up flux (W m^{-2})
clrls	Clear sky LW surf cool (W m^{-2})
solin	Instant incid solar (W m^{-2})
sabtp	Column abs solar (W m^{-2})
firtp	Net up LW flux at TOA (W m^{-2})

جدول ۱۳- خروجی مدل شیمی

Variables	Description
trac	Tracer mixing ratio (kg kg^{-1})
aext8	aer mix. ext. coef
assa8	aer mix. sin. scat. alb
agfu88	aer mix. ass. par
colb_tr	Column burden (kg m^{-2})
wdlsc_tr	Wet deposition large-scale (kg m^{-2})
wdcvc_tr	Wet deposition convective (kg m^{-2})
sdrdp_tr	Surface dry deposition (kg m^{-2})
xgasc_tr	chem gas conv. (mg/m2/d)
xaquc_tr	chem aqu conv. (mg/m2/d)
emiss_tr	Surface emission (kg m^{-2})
acstoarf	TOArad forcing av.(W m^{-2})
agfu88	SRFrad forcing av. (W m^{-2})

۲-۷-۲-۳- شروع مجدد (restart) یک شبیه‌سازی

اگر شبیه‌سازی شما متوقف شد یا شما بخواهید مدل را مجدداً از جایی که شبیه‌سازی قبلی شما پایان یافت، آغاز کنید، می‌توانید گزینه restart را انتخاب کنید. مدل هر ماه یک فایل خروجی مورد نیاز برای شروع مجدد شبیه‌سازی را در زیرشاخه output (SAV.YYYYMMDDHH) ذخیره می‌کند. در موارد توقف شبیه‌سازی، مدل فایل‌های موقتی را با تکرر بیشتر در شاخه کاری شما (SAVTMP.YYYYMMDDHH) ذخیره می‌کند. برای شروع مجدد یک شبیه‌سازی، به آسانی پارامتر ifrest را در فایل regcm.in تغییر دهید و اگر نیاز بود پارامترهای تاریخ را تغییر دهید. شما همچنین نیاز به ایجاد یک اتصال از فایل مناسب SAV.YYYYMMDDHH به یک فایل به نام fort.14 در شاخه کاری خود دارید (نکته: YYYYMMDDHH باید با تاریخی که می‌خواهید شروع مجدد شبیه‌سازی را از آنجا آغاز کنید، یکسان باشد). بسته به شبیه‌سازی، شاید نیاز به ایجاد فایل‌های ICBC جدید داشته باشید و نیاز به تغییر اتصالات در فایل متنی regcm.x باشد.

۲-۷-۳-بخش پس‌پردازش

مدل هر ماه سه فایل خروجی را در زیرشاخه output ایجاد می‌کند:

- ATM.YYYYMMDDHH از مدل جو
- SRF.YYYYMMDDHH از مدل سطح زمین

- RAD.YYYYMMDDHH از مدل تابش
- اگر مدل شیمی را نیز اجرا کنید یک فایل خروجی دیگر به نام CHE.YYYYMMDDHH خواهید داشت.

پس‌پردازش RegCM فایل‌های خروجی مدل را به فایل‌های خروجی جدیدی از متغیرهای میانگین در فرمت‌های معمول مثل NetCDF یا GrADS تبدیل می‌کند. شما باید فایل postproc.in در شاخه کاری خود را تغییر دهید تا چگونگی میانگین‌گیری از متغیرها (روزانه، ماهانه و غیره) و فرمت فایل‌ها را تعیین کنید. سپس فایل متنی postproc.x را اجرا کنید تا برنامه اجرا شود.

۲-۷-۳-۱- تبدیل داده‌های sigma-level به سطوح فشاری

یک برنامه تبدیل وجود دارد که یک فایل با فرمت GrADS ایجاد می‌کند. SIGMAtoP.f در شاخه RegCM/Commons/tools قرار دارد. دستورالعمل‌های کامپایل کردن در دو خط بالای فایل تعیین می‌شود. قبل از کامپایل کردن و اجرای آن، باید موارد زیر را در SIGMAtoP.f ویرایش کنید:

- iy، jx، kz: ابعاد شبکه (باید با ابعاد OUT-HEAD.CTL یکسان باشد نه DOMAIN-INFO.CTL)
- np: تعداد سطوح فشاری
- plev: سطوح فشاری خاصی که می‌خواهید ایجاد کنید بر حسب hPa وارد کنید (کل تعداد سطوح باید با np برابر باشد).
- nfile: تعداد فایل‌های ATM که می‌خواهید پردازش شوند.
- inout: نام فایل‌های ATM که می‌خواهید پردازش شوند.
- number: تعداد برش‌های زمانی در هر فایل ATM.

یک فایل توصیفگر GrADS برای داده‌های تبدیل‌شده نیز در RegCM/Commons/tools موجود است: PLEV-VAR.ctl. برای استفاده از آن، به آسانی خطوط pdef، xdef، ydef، zdef و tdef را طبق خصوصیات حوزه خود ویرایش کنید. شما می‌توانید خطوط pdef، xdef و ydef را از فایل OUT-HEAD.CTL خود کپی کنید. خط zdef باید شامل تعداد یکسانی از سطوح فشاری باشد که شما در np در

SIGMAtoP.f تنظیم کردید. tdef باید به صورت تعداد کل برش‌های زمانی در فایل خروجی تنظیم شود (مجموع تعداد داده‌ها- بنابراین اگر تعداد داده‌ها به /20,40/ تنظیم شد، شما ۶۰ برش زمانی در فایل خواهید داشت). زمان شروع را با زمان شروع داده‌ها تعویض کنید. حال شما باید قادر باشید داده‌های تبدیل‌شده را در GrADS ببینید.

۲-۷-۳-۲- درون‌یابی داده‌های مشاهده‌ای

در شاخه فایل‌های متنی برای درون‌یابی داده‌های مشاهده‌ای در شبکه RegCM شما وجود دارد تا امکان مقایسه با مشاهدات را تسهیل کند.

یکی از سری داده‌هایی که اغلب استفاده می‌شود، داده‌های جهانی با تفکیک‌پذیری بالا مربوط به واحد تحقیقات اقلیمی (CRU) است که تنها سری داده‌های زمینی جهانی با تفکیک ۰/۵ درجه است. متغیرهای میانگین ماهانه زیر موجود هستند: بارندگی، پوشش ابر، دامنه دمای روزانه، دمای حداکثر روزانه، دمای حداقل روزانه، دمای متوسط روزانه، فشار هوا، فراوانی روزهای مرطوب و فراوانی روزهای یخبندان. اطلاعات مربوط به سری داده‌های CRU در سایت http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data موجود هستند.

سری داده‌های بارندگی دیگری به نام CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP) نیز وجود دارد که سری داده‌های جهانی با تفکیک ۲/۵ درجه با قابلیت پوشش زمین و اقیانوس هستند. داده‌ها از ۱۹۷۹ موجود هستند. داده‌ها به صورت میانگین‌های ماهانه موجودند و از وب‌سایت CDC قابل دانلود و مشاهده هستند (http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.cmap.html).

سومین منبع داده، داده‌های بارندگی و دمای جهانی دانشگاه Delaware است. داده‌ها از ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۹ موجود هستند (http://climate.geog.udel.edu/ climate).

۳- مطالعه موردی

در این تحقیق از مدل ریزمقیاس‌نمایی RegCM4.1 برای شبیه‌سازی مجموعه داده‌های هواشناسی و سطح استفاده شده است. مدل به طور موردی برای ایستگاه هواشناسی مشهد برای ماه ژانویه ۲۰۰۴ اجرا شد که در قسمت نتایج، خروجی مدل قابل مشاهده است. مراحل کار به ترتیب به صورت زیر است:

در گام اول نصب این مدل مدنظر است. با توجه به اینکه کامپایلر این مدل تحت محیط لینوکس طراحی شده است، لازم است این سیستم عامل به طور کامل نصب گردد. قید "به طور کامل" به این دلیل مطرح شده است که سیستم لینوکس این قابلیت را دارد که به صورت پرتابل روی ویندوز هفت نصب شود، اما برای استفاده کاربردی مانند نصب مدل مذکور باید از روی هارددیسک فراخوانی شود. حداقل فضای لازم برای نصب لینوکس ۱۰ گیگابایت و برای نصب RegCM حداقل ۵۰ گیگابایت است که برای حل این مساله و رفع هرگونه محدودیت برای اجراهای متعدد، فضایی معادل ۱۵۰ گیگابایت به این سیستم عامل تعلق یافت. پس از نصب این سیستم عامل (نسخه ۱۱.۱۰)، برای ورود به محیط ریشه و نصب هرگونه نرم‌افزار باید کلمه عبور ریشه (root password) تهیه، که هنگام نصب باید اقدام به این عمل نمود. در ادامه مراحل نصب و اجرای این مدل ریزمقیاس ارائه شده است. کلیه کدنویسی‌ها و اقدامات توصیف‌شده در ذیل در محیط terminal انجام می‌شود.

۳-۱- نصب RegCM-4.1.tar.gz

مدل RegCM با فرمت مناسب برای محیط لینوکس (tar.gz) قابل دریافت از آدرس زیر است:

http://eforge.escience-lab.org/gf/project/regcm/frs/RegCM-4.1.tar.gz

بعد از دریافت، وارد محیط ریشه شده و به آدرس موقعیت نرم‌افزار رفته و مدل از حالت فشرده با دستور زیر خارج می‌شود:

```
# tar -xvf RegCM-4.1.tar.gz
```

با اجرای این دستور دایرکتوری جدید در آدرس مربوطه به نام RegCM-4.1 اجرا می‌شود. نکته مهمی که در اینجا باید به آن پرداخته شود، لزوم نصب یکسری نرم‌افزار برای نصب و اجرای RegCM-4.1 و مشاهده نتایج می‌باشد که لیست این بسته‌ها در زیر آمده است:

1. Python 2 language interpreter
2. Fortran 90 compiler
3. Ghost script
4. Vim editor
5. netCDF.tar.gz
6. g++ compiler
7. OpenGrads

در نسخه‌های جدید سیستم عامل لینوکس منبع یا سورس بیشتر این بسته‌ها وجود دارد که برای نصب آنها کافی است وارد محیط Software center شده و بسته مدنظر را نصب نمود. موارد ۵ و ۷ باید با نوشتن کد نصب شوند که مورد ۵ یعنی نرم‌افزار netCDF دارای صورت باینری است چرا که داده‌های ورودی و خروجی این مدل با فرمت صفر و یک و غیر خوانا به صورت معمولی هستند. برای دریافت این نرم‌افزار با فرمت مورد نظر از آدرس زیر می‌توان اقدام نمود:

ftp://ftp.unidata.ucar.edu/pub/netcdf/netcdf.tar.gz

باتوجه به لزوم نصب برخی مشتقات این بسته برای اجرای کامل آن، توصیه می‌شود نسخه ۴.۱.۳ آن نصب شود که کامل و مستقل از مشتقات دیگر است. نرم‌افزارهای مذکور برای اجرا و نمایش ورودی‌ها و خروجی‌های مدل لازم هستند، اما برخی نرم‌افزارهای دیگر نیز وجود دارد که در صورت نیاز می‌توانند نصب شوند که ذکر آنها از حوصله این بحث خارج است.[۱] نرم‌افزار OpenGrads نرم‌افزار قرائت و نمایش فایلهای خروجی است که قابلیت نصب و اجرا تحت ویندوز را هم دارد. برای استفاده از این نرم‌افزار باید در هنگام خروجی گرفتن دستور تولید فایلهای با فرمت ctl. نیز داده شود.

[۱] به عنوان مثال می‌توان به نرم‌افزار MPI اشاره نمود که برای افزایش سرعت اجرای برنامه، نصب آن توصیه می‌شود. لازم به ذکر است که در پردازنده‌های چندهسته‌ای، نصب این نرم‌افزار این قابلیت را فراهم می‌کند که اجرای برنامه به طور موازی (parallel) توسط چندین هسته صورت پذیرد که به طورقطع سرعت کامپایلر در مقایسه با حالت سری (serial) بیشتر می‌گردد.

به طور کل روش متعارف نصب یک نرم‌افزار غیراجرایی در محیط لینوکس شامل غیرفشرده‌سازی فایل (Untarring)، پیکره‌بندی دایرکتوری (Configuring) و نصب (Installing) می‌باشد که نرم‌افزار netCDF به همین ترتیب نصب گردید. این نرم‌افزار باید در دایرکتوری به آدرس زیر نصب شود:

File system/usr/local/bin

پس از اتمام نصب نرم‌افزار مذکور، مدل دریافت شده در آدرس موردنظر کاربر از حالت فشرده درمی‌آید و پیکره‌بندی آن آغاز می‌شود. بعد از دادن دستور مربوط به پیکره‌بندی، پیام خوش‌آمدگویی به محیط RegCM ظاهر شده و در ادامه آدرس فایل‌های library و include نرم‌افزار netCDF را از کاربر می‌خواهد. در ادامه انتخاب یکسری قابلیت‌ها مانند نصب موازی مدل، استفاده از داده‌های CLM وغیره به صورت سوئیچ وجود دارد که با نظر کاربر مقادیر صفر به معنای عدم انتخاب قابلیت و یک به معنای انتخاب قابلیت وارد می‌شود (لازم به ذکر است که انتخاب هرکدام از این قابلیت ها ممکن است لزوم نصب یک نرم‌افزار بخصوص را به همراه داشته باشد). گام بعد انتخاب نوع کامپایلر نصب شده از میان ۹ گزینه مختلف است که معمولا کامپایلر پیش‌فرض موجود در سیستم عامل لینوکس همان gfortran90 می‌باشد. اگر مراحل نصب تا به اینجا با دقت صورت گرفته باشد، پیام تبریک مشاهده می‌شود، در غیر این صورت باید مراحل نصب از ابتدا بررسی و خطاهای مشهود رفع گردد. یکی از محسنات این نرم‌افزار ارتباط خوبی است که با کاربر برقرار می‌کند (user interface)، به عبارتی وجود هرگونه خطا یا کاستی در حین نصب یا اجرا به وضوح در قالب error بیان می‌شود و با کمی دقت می‌توان آن را رفع نمود، در صورت عدم وجود هرگونه خطا در پایان هر گام پیغام موفقیت (successfully) ظاهر می‌شود.

در گام بعدی لازم است فایلهای اجرایی لازم برای مراحل پیش‌پردازش و اجرا در این مرحله ساخته و نصب شوند که با دادن دستور make all این فایلها ساخته می‌شوند. اولین اقدام پس از اتمام نصب مدل RegCM تعریف یک پروژه می‌باشد که در قسمت بعدی تشریح می‌شود.

۳-۲- تعریف پروژه

در واقع شروع کار با مدل ریزمقیاس دینامیکی RegCM تعریف یک دایرکتوری ترجیحا خارج از محیط نصب این مدل است. هر پروژه دارای دو دایرکتوری ورودی (برای فایل‌های حاصل از فرآیند پیش‌پردازش) و خروجی (برای فایل‌های حاصل از اجرای مدل) می‌باشد که باید ایجاد شوند. ایجاد هر دایرکتوری در محیط terminal با دستور mkdir میسر است. از دایرکتوری Bin در آدرس نصب مدل، لینکی به درون آدرس پروژه زده می‌شود. در این دایرکتوری کلیه فایلهای پیش‌پردازش اعم از terrain، sst و icbc و فایل‌های اجرای مدل و نمایش خروجی‌ها وجود دارد. علت جایگزینی دستور لینک به جای کپی این است که با اجرای دستور کپی برای ایجاد هر پروژه حجم بالایی فایل جابجا و فضای هارد بی‌مورد اشغال می‌شود، اما با دستور لینک این جابجایی صورت نمی‌گیرد. دستور لینک از قرار زیر است:

```
# ln –sf ../RegCM-4.1/Bin/  .
```

در مرحله بعد لازم است که یک فایل تست از دایرکتوری Testing واقع در محیط نصب مدل در آدرس پروژه کپی شود که این فایلها با فرمت in. می‌باشند. این فایل محیطی ویرایشگر برای کاربر ایجاد می‌کند که با نمایش آن توسط فرمان vim، کاربر قادر خواهد بود کلیه اطلاعات نظیر انتخاب دامنه جغرافیایی (domain)، تفکیک مکانی و زمانی اجرا، آدرس داده‌های جهانی مربوط به جو، توپوگرافی و دمای سطح دریا، حد بالای فشار اتمسفری (ارتفاعی که اثر ناهمواری از بین می‌رود)، نوع مدل جهانی، بازه زمانی مدنظر (ساعت، روز، ماه و سال) و غیره را تغییر دهد و یا موارد پیش‌فرض را بپذیرد.

لازم به ذکر است که در این مطالعه از خروجی مدل NNRP1 تحت سناریوی A1B برای ریزمقیاس-نمایی استفاده شده است. همچنین داده‌های سطح دارای تفکیک مکانی ۳۰ ثانیه‌ای (تقریبا معادل ۹۰۰متر) هستند. بازه زمانی نیز ماه ژانویه سال ۲۰۰۴ انتخاب شد که به صورت ۲۰۰۴۰۱۰۱۰۰ تا ۲۰۰۴۰۲۰۱۰۰ به مدل شناسانده شد. براین اساس سه دایرکتوری به نامهای NNRP1، SURFACE و SST در دایرکتوری‌ای بنام data ایجاد شدند و داده‌های مربوط به هرکدام به طور مجزا ذخیره شد. در محیط ویرایشگر آدرس این

داده‌ها و آدرس فایلهای ورودی و خروجی مربوط به پروژه در خطوط جداگانه وارد می‌شود. پس از اتمام کار در محیط ویرایشگر، تغییرات ذخیره و به محیط ترمینال بازگشت داده می‌شود.

۳-۳- پیش‌پردازش و اجرا

پیش‌پردازش در حقیقت جداسازی محدوده مکانی و زمانی تعریف شده در محیط ویرایشگر از داده‌های جهانی است. خروجی این مرحله، در حقیقت ورودی برای مرحله اجرا محسوب می‌شود. با پیش‌پردازش ۴ فایل با فرمت باینری مربوط به داده‌های هواشناسی، توپوگرافی سطح و دمای سطح دریا در دایرکتوری ورودی (عموما با نام input) تولید می‌شوند. دستورات زیر برای انجام این مرحله لازم است:

```
# ./Bin/icbc    regcm.in
# ./Bin/surface   regcm.in
# ./Bin/sst   regcm.in
```

لازم به ذکر است که لینوکس به بزرگی یا کوچکی حروف حساس است و لذا املای واژگان باید مشابه آنچه که در دایرکتوری مربوطه است تایپ شود. در پایان اجرای هر مرحله پیغام فرآیند موفقیت‌آمیز مشاهده می‌شود.

اجرای مدل RegCM با فراخوانی فایل regcmSerial از دایرکتوری Bin واقع در محیط پروژه میسر است که در این صورت فرآیند اجرا به صورت سری از اولین گام زمانی (معمولا گام‌های زمانی ۳ ساعته هستند) شروع و بسته به نوع CPU و طول بازه زمانی در مدت زمان معینی به پایان میرسد. با اتمام مرحله اجرا ۴ فایل با فرمت nc. تولید و در مرحله بعد برای نمایش این فایلها در محیط Grads، فایلهای با فرمت ctl. تولید شدند.

۴-۳- نتایج

همانطور که در بخش قبل نیز ذکر شد به دلیل آشنایی کار با مدل ریزمقیاس‌نمایی RegCM4.1، مدل برای ماه ژانویه در ایستگاه هواشناسی مشهد اجرا شد. ایستگاه مشهد با ارتفاع ۹۹۹ متر از سطح

دریا، در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی واقع شده است. غیر از مواردی هم‌چون طول و عرض جغرافیایی، آدرس فایل‌های ورودی و خروجی، نوع مدل جهانی وغیره، بیشتر پارامترهای پیش‌فرض ورودی مدل پذیرفته شد. خروجی‌ها به محیط نرم‌افزار اجرایی گردس آورده شد و مقادیر ماهانه با تعریف یک فایل script استخراج شد. در جدول شماره ۱۴ خروجی مدل برای تمام متغیرهای ریزمقیاس‌شده، آورده شده است.

جدول ۱۴- نتایج حاصل از اجرای مدل RegCM-4.1

شماره	مخفف نام متغیر	توصیف	واحد	مقدار ماهانه متغیر حاصل از خروجی مدل	مقدار ماهانه متغیر حاصل از داده های مشاهده‌ای
۱	aldifs	آلبدوی سطح برای تابش پراکنده	اعشار بین صفر و یک	۰/۲۸	
۲	aldirs	آلبدوی سطح برای تابش مستقیم	اعشار بین صفر و یک	۰/۳	
۳	ps_min	حداقل فشار سطح	هکتوپاسکال	۹۱۱/۴	
۴	s01w10max	حداکثر سرعت باد ۱۰ متری	متر بر ثانیه	۶/۷	

شماره	مخفف نام متغیر	توصیف	واحد	مقدار ماهانه متغیر حاصل از خروجی مدل	مقدار ماهانه متغیر حاصل از داده های مشاهده‌ای
۵	s01t2max	دمای حداکثر ۲ متری	کلوین	۲۷۳/۲	۲۸۳/۲
۶	s01t2min	دمای حداقل ۲ متری	کلوین	۲۷۱/۷	۲۷۴/۲
۷	tgmin	دمای حداقل سطح	کلوین	۲۷۰/۱	
۸	tgmax	دمای حداکثر سطح	کلوین	۲۷۴/۸	
۹	zpbl	ضخامت لایه PBL	متر	۲۱۸/۴	
۱۰	prcv	میزان بارش همرفتی	کیلوگرم بر مترمربع بر روز	۴۳/۶	
۱۱	fld	شار موج بلند به سمت پایین	وات بر مترمربع	۲۲۱/۸	
۱۲	fsw	شار تابش خالص جذب شده	وات بر مترمربع	۱۰۲/۴	
۱۳	flw	شار انرزی مادون قرمز	وات بر مترمربع	۶۹/۲	
۱۴	sena	شار گرمای محسوس	وات بر مترمربع	-۱۰/۶	
۱۵	scv	میزان برف	کیلوگرم بر مترمربع بر روز	۳۶۲۹/۹۳	

شماره	مخفف نام متغیر	توصیف	واحد	مقدار ماهانه متغیر حاصل از خروجی مدل	مقدار ماهانه متغیر حاصل از داده های مشاهده‌ای
۱۶	runoff	رواناب سطحی	کیلوگرم بر مترمربع بر روز	۰	
۱۷	evp	تبخیرتعرق کل	کیلوگرم بر مترمربع بر روز	۲۷/۵	
۱۸	tpr	بارندگی کل	کیلوگرم بر مترمربع	۱۰۳/۲	۵۴/۳
۱۹	s01smw	محتوای رطوبتی	کیلوگرم بر کیلوگرم	۸/۳	
۲۰	s01q2m	نسبت اختلاط بخار آب ۲ متری	کیلوگرم بر کیلوگرم	۰/۰۰۴	
۲۱	s01t2m	دمای میانگین ۲ متری	/کلوین	۲۷۲/۶	۲۷۸/۷
۲۲	tg	دمای خاک	کلوین	۲۷۱/۶	
۲۳	s01v10m	مولفه v ۱۰ متری	متر بر ثانیه	۲/۰۴	
۲۴	s01u10m	مولفه u ۱۰ متری	متر بر ثانیه	۴/۶۹	
۲۵	ps	فشار سطح	هکتوپاسکال	۹۱۵/۷	
۲۶	topo	متوسط ارتفاع محدوده	متر	۱۵۹۷/۴	

به منظور ارزیابی نتایج مدل، خروجی مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه مشهد مقایسه شد. ستون آخر جدول فوق به داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه مشهد اشاره دارد. لازم به ذکر است به دلیل اینکه بسیاری از متغیرهای موجود در جدول بالا در ایستگاه‌های سینوپتیک اندازه‌گیری نمی‌شود، لذا، تنها متغیرهای قابل مقایسه دمای حداقل، حداکثر، میانگین در ارتفاع ۲ متری و بارندگی کل می‌باشند. مقایسه

نتایج با داده‌های مشاهده‌ای، کم برآوردی متغیرهای دمای حداقل، حداکثر و میانگین در ارتفاع ۲ متری و بیش برآوردی متغیر بارندگی کل را نسبت به داده‌های مشاهده‌ای نشان می‌دهد.

به منظور ارزیابی جامع مدل نیاز است کلیه متغیرها با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه شده و کارائی مدل در ریزمقیاس‌نمایی سنجیده شود.

۴- منابع

1. Giorgi, F., Elguindi, N., Cozzini, S. and Giuliani, G., 2011: 'Regional Climatic Model RegCM User's Guide Version 4.2', International Centre for Theoretical Physics Strada Costiera, 11 I - 34151 Trieste, Italy, Earth System Physics Section – ESP.

۲- شمسی پور؛ ع.، ۱۳۹۲، مدل‌های آب و هوایی، انتشارات دانشگاه تهران.

۳- مفیدی، ع.، کمالی، س.، زرین، آ.، ۱۳۹۲، ارزیابی توان مدل RegCM4 پیوند خورده با طرحواره غبار در آشکارسازی ساختار طوفان‌های گرد وغباری تابستانه در دشت سیستان، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران.