

بررسی جزئیات فیزیکی طرحواره های سطح مدل میان مقیاس منطقه ای MM5

مهران خدامرادپور ، پرویز ایران نژاد ، سهراب حجام و رباب مشایخی

موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

khodamrd@ut.ac.ir

چکیده طرحواره های پارامتره کردن سطح^۱ (طرحواره های سطح) به عنوان مولفه مهمی در مطالعات پیش بینی های اقلایمی، پیش بینی عددی وضع هوا و هیدرولوژی بکار می روند. مهمترین وظیفه این طرحواره ها، حل بودجه های انرژی و آب در سطح خشکی است. مدل MM5 پنجمین نسخه مدل میان مقیاس دانشگاه پنسیلوانیا و مرکز ملی تحقیقات جو^۲ میباشد که به طور گسترده ای در مطالعات آلودگی هوا، پیش بینی عددی وضع هوا و هیدرولوژی استفاده می شود. این مدل شامل طرحواره های پارامتره سطح، تابش، همرفت، لایه مرزی و بارش است که با یکدیگر مستقیماً بر هم کنش دارند. طرحواره های پارامتره سازی سطح در این مدل میان مقیاس شامل طرحواره های سطح^۳، واداشت-بازیافت^۴، پنج لایه ای خاک^۵، OSU^۶ و PX^۷ است. با توجه به اهمیت طرحواره های پارامتره سازی سطح در این مقاله سعی شده است که جزئیات فیزیکی این طرحواره های سطح بکار رفته در مدل میان مقیاس MM5 بطور کامل مورد بررسی قرار گیرد.

واژه های کلیدی - طرحواره های پارامتره سازی سطح، طرحواره سطل، طرحواره واداشت-بازیافت، طرحواره OSU و طرحواره PX

۱- مقدمه

امروزه طرحواره های پارامتره کردن سطح به عنوان یکی از مهمترین مؤلفه ها در مدل های پیش بینی عددی وضع هوا و گردش کلی جو مطرح هستند. بیست سال پیش، ورسترات و دیکنسن^۸ (۱۹۸۶) اشاره کردند که یکی از عوامل محدود کننده دقت و توان پیش بینی مدل های گردش کلی این است که فرایندهای سطح خشکی ها با جزئیات کافی در این مدل ها وارد نشده است. از آن زمان تلاش گسترده ای صرف بهبود ارائه فرایندهای سطح و بویژه فرایندهای هیدرولوژی آن، بعنوان هسته مرکزی طرحواره های سطح، در مدل های اقلیمی جهانی و پیش بینی هوا شده است. با این حال شبیه سازی تراز آبی سطح در مدل های اقلیمی و پیش بینی هوا هنوز از حالت مطلوب فاصله زیادی دارد (مثلاً، ایران نژاد و هندرسن-سلرز^۸، ۲۰۰۶).

¹ - Land Surface Scheme

² - National Centre for Atmospheric Research

³ - Bucket

⁴ - Force-Restore

⁵ - Oregon State University

⁶ - Pleim and Xue

⁷ - Verstraete and Dickinson

⁸ - Irannejad and Henderson-Sellers

در سطح مشترک جو- سطح (سطح خشکی^۹) تبادل تکانه، انرژی و جرم صورت می‌گیرد. این تبادلات نه تنها به حرکات ملکولی و اغتشاشی در جو بلکه به فرآیندهای هیدرولوژی سطح خاک و رفتار زیست کره قاره ای وابسته است. از این دیدگاه، سطح خشکی را می‌توان به عنوان لایه ای شامل پای‌ن تری‌ن بخش لایه مرزی جو، چند متری بالای سطح خاک، زیست کره قاره ای و سطح آبهای داخل قاره ها در نظر گرفت. طرحواره های سطح به طور کلی دارای دو بخش ترمودی‌نامی کی و آبی هستند. بخش ترمودی‌نامی کی شار انرژی سطح را محاسبه می‌کند بطوری‌که تابش خالص ورودی به شارهای گرمای نهان، محسوس، خاک و انرژی ذوب برف تقسیم می‌شود. در بخش آبی طرحواره های سطح، شار آب محاسبه می‌شود بطوری‌که بارش به تبخیر- تعرق، رواناب و تغیری‌رات رطوبت خاک تقسیم می‌شود. چرخه های آب و انرژی از طریقی شار گرمای نهان و تبخیر- تعرق با یکدیگر در ارتباط هستند.

اولین بار منابی^{۱۰} (۱۹۶۹) طرحواره هیدرولوژی سطح را به صورت خام در مدل‌های گردش کلی جو وارد کرد. در این طرحواره، خاک به شکل تک لایه و از نظر پاسخ هیدرولوژیکی به شکل سطل در نظر گرفته می‌شود که با بارندگی پر و در اثر تبخیر خالی می‌شود. رواناب سطحی زمانی رخ می‌دهد که سطل در اثر بارش پر شود. در این طرحواره اثر پوشش گیاهی بطور صریح وارد نشده است ولی تاثیر آن روی تبخیر- تعرق برای پوشش گیاهی با ریشه‌هایی با عمق یک متر در نظر گرفته شده است. تنها متغیر هیدرولوژیکی پیشیابی مدل سطل مقدار رطوبت در دسترس خاک است. این طرحواره چرخه فصلی شارهای رطوبت را در مقیاس قاره ای محاسبه می‌کند، اما از فرآیندهای پیچیده حرکت آب در خاک (فرآیندهای گرانشی و مؤینگی) و نقش پوشش گیاهی روی شارهای سطحی آب، گرما و تکانه صرف‌نظر می‌کند.

دیردورف^{۱۱} (۱۹۷۷) اولین بار مدل دو لایه ای خاک را برای محاسبه رطوبت خاک در مدل پیش بینی عددی وضع هوا بکار برد که بعداً با وارد کردن یک لایه پوشش گیاهی در این مدل دو لایه ای خاک، طرحواره سطح مناسبی را برای کاربرد در مدل‌های گردش کلی جو ارائه داد (دیردورف، ۱۹۷۸). این طرحواره واداشت- بازیافت نام گرفت زیرا رطوبت لایه نازک بالایی سطح خاک هم تحت تاثیر واداشتهای جو قرار دارد و هم در صورت خشک شدن توسط فرآیند پخشی رطوبت مقداری رطوبت از لایه پای‌ن باز می‌یابد.

فرض این طرحواره بر این است که حرکت قائم آب در داخل خاک تنها توسط فرآیند پخش صورت می‌گیرد. همچنین در بخشی از گرید های مربعی که دارای پوشش گیاهی می‌باشند این پوشش موجب تضعیف بارش و تابش موج کوتاه رسی‌ده به زمین می‌شود.

به تدریج طرحواره های پارامتره کردن سطح بر اساس هدفها و کاربردهای مختلف آنها در بخشهای مختلف گسترش یافت و هدف تمام آنها معرفی دقیق تری از فرآیندهای برهم کنش جو- سطح میباشد.

مدل MM5 پنجمین نسخه مدل میان مقیاس دانشگاه پنسیلوانیا و مرکز ملی تحقیقات جو است و به صورت گسترده ای در مطالعات آلودگی هوا، پیش بینی عددی وضع هوا و هیدرولوژی استفاده می‌شود. این مدل شامل طرحواره های پارامتره سطح، تابش، همرفت، لایه مرزی و بارش است که با یکدیگر مستقیماً بر هم کنش دارند.

۲- طرحواره های سطح مدل MM5

⁹ - Land Surface

¹⁰ - Manabe

¹¹ - Deardorff

طرحواره‌های پارامتره کردن سطح در مدل میان مقیاس MMS5 شامل طرحواره های سطل ، واداشت- بازیافت ، پنج لایه ای خاک ، OSU و PX است.

طرحواره سطل همچنان که قبلاً ذکر شد دارای یک لایه خاک است که تنها متغیر پیش یابی آن رطوبت خاک است. طرحواره واداشت- بازیافت دارای دو لایه خاک است که متغیر پیش یابی آن دمای خاک است. طرحواره پنج لایه ای خاک دارای پنج لایه خاک است و متغیرهای پیش یابی آن دما و رطوبت خاک است. طرحواره OSU شامل چهار لایه خاک است و متغیرهای پیش یابی آن دمای خاک ، رطوبت خاک و مقدار پوشش برف است. همچنین طرحواره PX شامل دو لایه خاک است که متغیرهای پیش یابی آن دما و رطوبت خاک است و خوراند غیر مستقیم داده ها در آن بکار می رود. این طرحواره های سطح در بخش بعد به تفصیل مورد بررسی قرار میگیرند.

۱-۲ طرحواره سطل

اولین بار منابی (۱۹۶۹) طرحواره هیدرولوژی سطح را به صورت خام در مدل‌های گردش کلی جو وارد کرد (شکل ۱). در این طرحواره دو مفهوم اساسی شامل ظرفیت نگهداری زراعی^{۱۲} و نقطه پژمردگی^{۱۳} بکار میرود و لایه خاک مدل شده بطور یک پارچه در نظر گرفته و از انتقال درونی آب صرفنظر میشود. ظرفیت نگهداری زراعی ، بیشینه محتوای آب خاک پس از خروج آب اشباعی است و نقطه پژمردگی ، محتوای آب خاک است که زیر آن ریشه های گیاه قادر به خارج کردن آب نمی باشند و گیاه پژمرده می شود. اختلاف این دو مقدار، بیشینه آب قابل دسترس خاک است. منابی برای سادگی مقدار بیشینه آب قابل دسترس خاک را مقدار ثابت ۱۵۰ میلیمتر در سطح کل قاره ها در نظر گرفت.

ارتفاع سطل یک متر در نظر گرفته شده است زیرا اکثر ریشه های گیاهان در این عمق قرار دارند. سطل با بارندگی پر شده و در اثر تبخیر خالی می شود و مقدار اضافی بارش یا به صورت رواناب سطحی جاری می شود یا در کف سطل نفوذ می کند. تنها متغیر هیدرولوژیکی پیشیابی این طرحواره مقدار رطوبت در دسترس خاک (w_a)، یعنی تفاضل رطوبت خاک و نقطه پژمردگی ، است که از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$w_a = w - w_w \quad (1)$$

در رابطه (۱) w رطوبت خاک و w_w نقطه پژمردگی است. آهنگ تغییرات رطوبت در دسترس خاک از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\frac{\partial w_a}{\partial t} = \begin{cases} P_r - R_o - E_v & Snow = 0 \\ P_r + S_m - R_o & Snow > 0 \end{cases} \quad (2)$$

در رابطه (۲) P_r بارش کل ، E_v تبخیر- تعرق و S_m ذوب برف و R_o رواناب سطحی است که از رابطه زیر محاسبه می شود.

¹²- Field capacity
¹³- Wilting point

$$Ro = \begin{cases} \max \left(0, P_r - E_v - \frac{(w_{fc} - w_a)}{dt} \right) & Snow = 0 \\ \max \left(0, P_r + S_m - \frac{(w_{fc} - w_a)}{dt} \right) & Snow > 0 \end{cases} \quad (3)$$

در رابطه (۳) ظرفیت نگهداری زراعی و dt بازه زمانی است. همچنین اگر سطح با برف پوشیده شده و یا رطوبت در دسترس خاک صفر باشد تبخیری از سطح خاک صورت نمی گیرد.

۲-۲ طرحواره پنج لایه ای خاک

این طرحواره شامل ۵ لایه خاک با ضخامتهای ۱، ۲، ۴، ۸ و ۱۶ سانتیمتری از سطح خاک است و متغیر پیش یابی آن دمای خاک است.

گرما در خاک بیشتر از طریق رسانایی انتقال می یابد و آهنگ تغییرات دمای خاک در طرحواره چند لایه ای از رابطه زیر محاسبه میشود.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{1}{C_s} \frac{\partial G}{\partial z} \quad (4)$$

در رابطه (۴) C_s ظرفیت گرمایی حجمی خاک و G شار گرمایی خاک است که از رابطه زیر محاسبه میشود.

$$G = K_h \frac{\partial T}{\partial z} \quad (5)$$

در رابطه (۵) K_h رسانایی گرمایی خاک است که به نوع و رطوبت خاک وابسته است. دمای لایه i ، T_i ، محاسبه شده از رابطه (۴)، در هرگام زمانی بروز شده و به مرکز لایه نسبت داده میشود.

۲-۳ طرحواره واداشت-بازیافت

این طرحواره ابتدا توسط بومرلکر^{۱۴} (۱۹۷۵) و بلاکادر^{۱۵} (۱۹۷۶) ارائه شد که شامل دولایه خاک، لایه نازک بالایی و لایه کف است. ضخامت لایه نازک بالایی چند میلیمتر و لایه کف نیم متر از سطح خاک در نظر گرفته می شود و متغیر پیشیابی دمای خاک است.

دلیل نام گذاری این طرحواره این است که دمای لایه نازک بالایی خاک هم تحت تاثیر واداشت شار گرمایی سطح خاک قرار دارد و هم مقدار آن توسط بخش بازگرداننده که شامل دمای عمق خاک است کاهش مییابد. آهنگ تغییرات دما در این دولایه از روابط زیر محاسبه می شود.

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = -C_1 \frac{G_0}{C_s d_1} - C_2 \frac{T_2 - T_1}{\tau_1} \quad (6)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = -\frac{G_0}{C_s d_2} \quad (7)$$

¹⁴ - Bhumralkar

¹⁵ - Blackadar

در روابط بالا T_1 و T_2 دمای لایه بالایی و لایه کف، d_1 و d_2 عمق میرایی موج روزانه و سالانه، C_1 و C_2 ضرایب واداشت و بازیافت، G_0 شار گرمایی مرز بالا و τ_1 پیوند یک روز است. بلاکادر مقادیر ثابت $3/72$ و $7/4$ را برای ضرایب واداشت و بازیافت پیشنهاد کرد.

۲-۴ طرحواره سطح OSU

این طرحواره توسط چن و دادهیا^{۱۶} (۲۰۰۱) ارائه شد که متغیرهای پیش یابی آن دمای خاک، رطوبت خاک و مقدار پوشش برف است. این طرحواره شامل ۴ لایه خاک، با ضخامت‌های $0/1$ ، $0/3$ ، $0/6$ و 1 متری از سطح خاک، یک لایه پوشش گیاهی و یک لایه پوشش برف است. کل عمق خاک ۲ متر در نظر گرفته می‌شود که شامل یک متر بالایی سطح خاک، ناحیه ریشه، و یک متری پایین خاک با جریان گرانشی کف است. این طرحواره سطح ترکیبی از مدل‌های چند لایه ای خاک مارت و پن^{۱۷} (۱۹۸۴)، رواناب سطحی شاکه^{۱۸} و همکاران (۱۹۹۶) و مدل ساده برف است که بر این اساس این طرحواره در دو بخش ترمودینامیکی و آبی در زیر به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۴-۱ بخش ترمودینامیکی طرحواره سطح

در این بخش از طرحواره سطح، دمای خاک از طرحواره چند لایه ای خاک مارت و پن (۱۹۸۴) محاسبه می‌شود که همان رابطه شار گرمایی در طرحواره چند لایه ای خاک (رابطه ۴) است و برای محاسبه رسانایی گرمایی خاک رابطه (۸) استفاده شده است (مک کامبر و پیلکه^{۱۹}، ۱۹۸۱):

$$K_h = \begin{cases} 420e^{-2.7+P_f} & P_f \leq 5.1 \\ 0.1744 & P_f > 5.1 \end{cases} \quad (8)$$

در رابطه (۸) رسانایی گرمایی خاک از طریقی P_f به مقدار رطوبت حجمی خاک وابسته است. همچنین مقدار P_f بصورت تابعی از پتانسیل ماتریس^{۲۰} اشباع خاک، ψ_s ، و رطوبت حجمی اشباع خاک، Θ_s ، که هر دو به ساختار خاک وابسته اند از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P_f = \log(\psi_s \left(\frac{\Theta_s}{\Theta_s^b}\right)^b) \quad (9)$$

در رابطه (۹) مقدار b که به نوع خاک وابسته است توسط کاسبی^{۲۱} و همکاران (۱۹۸۴) ارائه شده است. لازم به ذکر است که پتانسیلی ماتریس، مقدار کاری است که جهت خارج کردن آب از خاک برخلاف نیروی چسبندگی انجام می‌شود و برحسب متر و یا بار (واحد فشار) بیان می‌شود.

۲-۴-۲ بخش آبی طرحواره سطح

رطوبت حجمی خاک از حل عددی معادله ریچاردز^{۲۲} از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

16- Chen and Dudhia

17- Mahrt and Pan

18- Shaake

19- Mc Cumber and Pielke

20- Matric potential

21- Cosby

22- Richards equation

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial \Theta}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} + F_{\odot} \quad (10)$$

در رابطه (۱۰) F_{\odot} چشمه و چاهه رطوبت خاک (مانند بارش، تبخیر و رواناب) و K و D رسانایی هیدرولیکی و پخش هیدرولیکی خاک است که به رطوبت حجمی خاک وابسته اند. تبخیر کل در این طرحواره شامل تبخیر مستقیم از سطح خاک، تبخیر از بخش مرطوب پوشش گیاهی (ناشی از برگابی)، و تعرق از بخش خشک پوشش گیاهی است. مهفوف و نویلان^{۲۳} (۱۹۹۱) جهت محاسبه تبخیر مستقیم از سطح خاک، E_{dir} ، رابطه خطی زیر را ارائه کردند.

$$E_{dir} = (1 - \sigma_f) \beta E_p \quad (11)$$

در رابطه (۱۱) σ_f کسر پوشش گیاهی سلول شبکه، E_p تبخیر پتانسیلی پنمن، و β ضریبی است که تابع رطوبت در دسترس خاک است. همچنین تبخیر از بخش مرطوب پوشش گیاهی تابعی از محتوای آب پوشش گیاهی ناشی از برگابی، W_c ، و بیشینه ظرفیت نگهداری آب پوشش گیاهی، s ، است که از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$E_c = \sigma_f E_p (W_c / s)^n \quad (12)$$

در این طرحواره مقدار n ثابت و برابر با ۰/۵ در نظر گرفته می شود. همچنین تعرق از بخش خشک پوشش گیاهی نیز از رابطه زیر بدست می آید.

$$E_t = \sigma_f E_p \beta_c \left[1 - (w_c / s)^n \right] \quad (13)$$

در رابطه (۱۳) ضریب β_c تابعی از مقاومت پوشش گیاهی، R_c ، است. جکویمن و نویلان^{۲۴} (۱۹۹۰) مقاومت پوشش گیاهی را بصورت تابعی از تابش خورشید، کمبود فشار بخار آب، دمای هوا و رطوبت خاک محاسبه کردند.

در این طرحواره سطح رواناب سطحی از مدل توازن ساده آب (SWB²⁵)، که توسط شاگه و همکاران (۱۹۹۶) ارائه شد، محاسبه می شود. مدل توازن ساده آب شامل دو لایه، لایه نازک بالایی و لایه پایینی، است و مقدار ذخیره آب در هر لایه محدود است. لایه نازک بالایی حدود چند میلیمتر بالای سطح خاک است و اثر تبخیر از بخش مرطوب پوشش گیاهی نیز در آن در نظر گرفته میشود. لایه پایینی در بردارنده ناحیه ریشه و سیستم آب خاک است که در آن تعرق ناحیه ریشه و درون شارش اضافی بارش از لایه بالایی به این لایه در نظر گرفته میشود.

²³ - Mahfouf and Noilhan

²⁴ - Jacquemin and Noilhan

²⁵ - Simple Water Balance

همچنین در این مدل رواناب سطحی زمانی رخ می دهد که شدت بارش از بیشینه نفوذ خاک بیشتر باشد که از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$R = P_d - I_{\max} \quad (14)$$

در رابطه (14) P_d مجموع بارش و رواناب ناشی از برگابی رسیده به سطح خاک و I_{\max} بیشینه نفوذ است که از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$I_{\max} = P_d \frac{D_x [1 - \exp(-kdt\delta_i)]}{P_d + D_x [1 - \exp(-kdt\delta_i)]} \quad (15)$$

در رابطه (15) δ_i گام زمانی مدل بر حسب مقیاس زمانی روزانه ($\frac{\delta_t}{86400}$) است و kdt و D_x از روابط زیر محاسبه میشود.

$$kdt = kdt_{ref} \frac{K_s}{K_{ref}} \quad (16)$$

$$D_x = \sum_{i=1}^4 \Delta z_i (\Theta_s - \Theta_i) \quad (17)$$

در روابط بالا K_s رسانایی هیدرولیکی اشباع، $kdt_{ref} = 3$ و $K_{ref} = 2 \times 10^{-6} ms^{-1}$ است. در این طرحواره سطح مدل ساده برف وارد شده که شامل یک لایه پوشش برف است و متغیرهای پیشیابی آن مقدار تجمعی برف و مقدار تصعید و ذوب برف است. شار گرما بین برف و خاک در این مدل از رابطه زیر محاسبه میشود.

$$G = K_{snow} (T_s - T_{soil}) / D_{snow} \quad (18)$$

در رابطه (18) T_s دمای سطح برف است زمانیکه بیشینه تبخیر از سطح برف صورت میگیرد و T_{soil} دمای اولین لایه خاک و K_{snow} رسانایی برف است که مقدار آن ثابت و برابر $\frac{0.35}{mK}$ در نظر گرفته شده است. همچنین D_{snow} عمق برف است که ده برابر مقدار آب معادل برف در نظر گرفته می شود. با داشتن مقدار شار گرما بین برف و خاک میتوان تبخیر پتانسیلی، E_p ، را با استفاده از معادله توازن انرژی سطح محاسبه کرد. همچنین مقدار تصعید / تبخیر از سطح برف از رابطه زیر محاسبه میشود.

$$E = \begin{cases} E_p & D_{snow} \geq E_p \delta_t \\ \frac{D_{snow}}{\delta_t} & D_{snow} < E_p \delta_t \end{cases} \quad (19)$$

در رابطه (۱۹) δ_i گام زمانی مدل است. با قرار دادن تبخیر/تصعید برف در معادله توازن انرژی سطح، دمای سطح برف، T_s ، محاسبه میشود.

۲-۵ طرحواره پارامتره سطح PX

این طرحواره ابتدا توسط شو و پلایم^{۲۶} (۲۰۰۱) ارائه شد که متغیرهای پیشیابی آن دما و رطوبت خاک است و روش خوراند غیر مستقیم^{۲۷} (پلایم و شو، ۲۰۰۳) برای داده های رطوبت خاک در آن بکار می رود. اساس این طرحواره، طرحواره سطح ISBA^{۲۸} است که توسط نوبلان و مهفوف (۱۹۹۵) ارائه شد و شامل دولایه خاک، ضخامتهای یک سانتیمتری و یک متری از سطح خاک، و یک لایه پوشش گیاهی است که در آن دما و رطوبت خاک از طرحواره واداشت-بازیافت دیردورف محاسبه می شود.

در طرحواره سطح، PX، مدل دولایه ای خاک شامل لایه سطحی با ضخامت یک سانتیمتری و ناحیه ریشه با ضخامت یک متری از سطح خاک، d_1 و d_2 ، در نظر گرفته می شود. آهنگ تغییرات دمای خاک در دو لایه بالایی و پایینی، T_s و T_2 ، از روابط زیر محاسبه میشود.

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_s}{\partial t} &= C_T(R_n - H - LE) - \frac{2\pi}{\tau}(T_s - T_2) \\ \frac{\partial T_2}{\partial t} &= \frac{1}{\tau}(T_s - T_2) \end{aligned} \quad (20)$$

در روابط بالا τ پریود یک روز، R_n تابش خالص (مجموع تابش خالص موج کوتاه و بلند)، H و LE شار گرمای محسوس و نهان از جو به سطح است. همچنین نوبلان و پلانتون (۱۹۸۹) جهت محاسبه ضریب C_T ، مجموع ظرفیت گرمایی حجمی خاک و پوشش گیاهی، رابطه زیر را ارائه کردند.

$$C_T = \frac{1}{\left(\frac{1-veg}{C_G} + \frac{veg}{C_V} \right)} \quad (21)$$

در رابطه (۲۱) veg کسر پوشش گیاهی سلول شبکه، C_V ظرفیت گرمایی حجمی پوشش گیاهی است که مقدار ثابت، $2 \times 10^{-3} K^\circ m^2 J^{-1}$ ، در نظر گرفته میشود و C_G ظرفیت گرمایی حجمی خاک است. آهنگ تغییرات رطوبت حجمی خاک در لایه بالایی و پایینی خاک (w_g و w_2) و محتوای آب روی پوشش گیاهی (ناشی از برگابی)، W_r ، از روابط زیر محاسبه می شود.

²⁶ - Xue and Pleim

²⁷ - Indirect Data Assimilation

²⁸ - Interaction between Soil, Biosphere, Atmosphere model

$$\begin{aligned} \frac{\partial w_g}{\partial t} &= \frac{C_1}{\rho_w d_1} (P_g - E_g) - \frac{C_2}{\tau} (w_g - w_{geq}) & 0 \leq w_g \leq w_{sat} \\ \frac{\partial w_2}{\partial t} &= \frac{1}{\rho_w d_2} (P_g - E_g - E_{tr}) - \frac{C_3}{d_2 \tau} \max[0, (w_2 - w_{fc})] & 0 \leq w_2 \leq w_{sat} \quad (22) \\ \frac{\partial W_r}{\partial t} &= vegP - (E_v - E_{tr}) - R_r & 0 \leq W_r \leq W_{rmax} \end{aligned}$$

در روابط بالا ρ_w چگالی آب، E_g تبخیر مستقیم از سطح خاک، P_g بارش موثر (صرفنظر از برگابی)، E_v تبخیر از بخش مرطوب پوشش گیاهی، E_{tr} آهنگ تعرق، τ پریود یک روز، R_r رواناب ناشی از برگابی (مقدار اضافی بارش روی سطح پوشش گیاهی که بیش از ظرفیت نگهداری پوشش گیاهی میباشد) و w_{geq} مقدار رطوبت حجمی سطح خاک است زمانیکه نیروهای گرانشی و موینگی در تعادل باشند. همچنین C_1 و C_2 ضرایب واداشت و بازیافت و ضریب C_3 ضریب زهکشی^{۲۹} گرانشی است که مقدار آنها از روابط موجود در طرحواره ISBA محاسبه می شود.

همچنین در طرحواره سطح ISBA تبخیر مستقیم از سطح خاک، تبخیر از بخش مرطوب پوشش گیاهی و تعرق از بخش خشک پوشش گیاهی از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\begin{aligned} E_g &= \rho_a \frac{(1-veg)}{R_a} (h_u q_{sat}(T_s) - q_a) \\ E_v &= \rho_a \frac{veg}{R_a} h_v (q_{sat}(T_s) - q_a) \\ E_{tr} &= veg \frac{1-\sigma}{R_a + R_s} (q_{sat}(T_s) - q_a) \end{aligned} \quad (23)$$

در روابط بالا ρ_a چگالی هوا، $q_{sat}(T_s)$ رطوبت ویژه اشباع در دمای لایه سطحی خاک، q_a رطوبت ویژه هوا در پایین ترین لایه جو، R_a مقاومت آئروپودینامیکی هوا و R_s مقاومت پوشش گیاهی است. همچنین σ بخش مرطوب پوشش گیاهی ناشی از برگابی است که توسط دیردورف (۱۹۷۸) از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\sigma = \left(\frac{W_r}{W_{rmax}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (24)$$

در رابطه (۲۴) W_{rmax} بیشینه ظرفیت نگهداری آب پوشش گیاهی است. همچنین ضرایب h_u و h_v در رابطه (۲۳) از روابط زیر محاسبه می شوند.

$$h_v = (1 - \delta) \frac{R_s}{(R_a + R_s) + \delta}$$

$$h_u = \begin{cases} \frac{1}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{w_g}{w_{fc}} \pi \right) \right] & w_g < w_{fc} \\ 1 & w_g \geq w_{fc} \end{cases} \quad (25)$$

در طرحواره سطح PX به دلیل کمبود داده های دیدبانی رطوبت خاک از روش خوراند غیر مستقیم داده ها استفاده میشود و زمانی بکار میرود که جفت شدگی سطح و جو شدید است. همچنین ضرایب سوق دادن 30° در آن بر اساس پارامترهای بکار رفته در خود مدل مانند دمای هوا و دمای سطح برگ محاسبه می شود. روابط زیر برای خوراند غیر مستقیم داده های رطوبت خاک در این طرحواره بکار می رود.

$$\frac{\partial w_g}{\partial t} = \alpha_1 (T^a - T^f) + \alpha_2 (RH^a - RH^f) \quad (26)$$

$$\frac{\partial w_2}{\partial t} = \beta_1 (T^a - T^f) + \beta_2 (RH^a - RH^f)$$

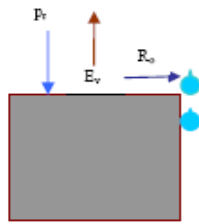
در رابطه (26) اندیسهای بالانویس a و f نشاندهنده داده های مشاهداتی و مقادیر پیش بینی شده توسط مدل و ضرایب $\alpha_{1,2}$ و $\beta_{1,2}$ ضرایب سوق دادن می باشند. ضرایب $\alpha_{1,2}$ روی خاک سلول شبکه بدون پوشش گیاهی اثر دارد که تابعی از تابش خورشید است. همچنین ضرایب $\beta_{1,2}$ روی لایه پایینی خاک (یک متری) و بخش پوشش گیاهی سلول شبکه اثر دارد و تابعی از مقاومت پوشش گیاهی است.

۶- نتایج و جمع بندی

طرحواره های پارامتره کردن سطح بکار رفته در مدل MM5 دارای فیزیک متفاوتی می باشند که شامل طرحواره های سطل ، واداشت- بازیافت ، پنج لایه ای خاک ، طرحواره سطح OSU و طرحواره سطح PX می باشد. طرحواره سطل دارای یک لایه خاک است که تنها متغیر پیش یابی آن مقدار رطوبت در دسترس خاک است. طرحواره پنج لایه ای خاک دارای پنج لایه خاک است و متغیر پیش یابی آن دمای خاک است. دمای خاک محاسبه شده در هر لایه به مرکز آن لایه نسبت داده می شود. طرحواره واداشت- بازیافت دارای دو لایه خاک ، لایه نازک بالایی و لایه کف است و متغیر پیش یابی آن دمای خاک است. طرحواره OSU شامل چهار لایه خاک است و متغیرهای پیش یابی آن دمای خاک ، رطوبت خاک و مقدار پوشش برف است. طرحواره PX شامل دو لایه خاک است که متغیرهای پیش یابی آن دما و رطوبت خاک است و خوراند غیر مستقیم برای داده های رطوبت خاک در آن بکار می رود. با توجه به اهمیت طرحواره های سطح در مدل های پیش بینی عددی وضع هوا و مدل های اقلیمی در این مقاله سعی شده است که جزییات فیزیکی طرحواره های سطح در مدل میان مقیاس MM5 بطور کامل مورد بررسی قرار گیرد.

- 1- Verstraete, M. M. and R. E. Dickinson, 1986, Modeling surface processes in atmospheric general circulation models, *Ann. Geophys.*, **4(B)**, 357-364.
- 2- Irannejad, P. and A., Henderson-Sellers, 2006, Evaluation of AMIP II Global Climate Model Simulations of the Land-surface Water Budget and its Components over the GEWEX-CEOP Regions, *J. Hydrometeor.*, accepted.
- 3- Irannejad, P. and A., Henderson-Sellers, 2006, Is it time for accounting standards in climate prediction reports? , *Climate Change*, submitted.
- 4- Manabe, S, 1969, Climate and ocean circulation: 1. The atmospheric circulation and hydrology of the earth surface, *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 739-774.
- 5- Deardorff, J. W., 1977, A parameterization of ground-surface moisture content for use in atmosphere prediction models, *J. Appl. Meteor.*, **16**, 1182-1185.
- 6- Deardorff, J. W., 1978, Efficient prediction of ground surface temperature and moisture, with inclusion of a layer of vegetation, *J. Geophys. Res.*, **83**, 1889-1903.
- 7- Bhumralkar, C. M., 1975, Numerical experiments on the computation of ground surface temperature in atmospheric general circulation models, *J. Appl. Meteor.*, **14**, 1246-1258.
- 8- Blackadar, A. K., 1976, Modeling the nocturnal boundary layer, In: *Proceedings of the Third Symposium on Atmospheric Turbulence, Diffusion and Air Quality*, American Meteorology Society, Boston, Mass, 46-49.
- 9- Chen, F., and J. Dudhia, 2001, Coupling and advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system, Part I: Model implementation and sensitivity, *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 569-585.
- 10- Chen, F., and J. Dudhia, 2001, Coupling and advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system, Part II: Preliminary model validation, *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 587-604.
- 11- Mahrt, L. and H. L. Pan, 1984, A two-layer model of soil hydrology, *Bound-Layer Meteor.*, **29**, 1-20.
- 12- Schaake, J. C., V. I. Koren, Q. Y. Mitchell, and F. Chen, 1996, A simple water balance model (SWB) for estimating runoff at different spatial and temporal scales, *J. Geophys. Res.*, **101**, 7461-7475.
- 13- Mc Cumber, M. C. and R. A. Pielke, 1981, Simulation of the effects of surface fluxes of heat and moisture in a mesoscale numerical model soil layer, *J. Geophys. Res.*, **86**, 9929-9938.
- 14- Cosby, B. J., G. M. Hornberger, R. B. Clapp, and T. R. Ginn, 1984, A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils, *Water Resour. Res.*, **20**, 682-690
- 15- Mahfouf, J. F., and J. Noilhan, 1991, Comparative study of various formulation from bare soil using in situ data. *J. Appl. Meteor.*, **30**, 1354-1364.
- 16- Jacquemin, B. and J. Noilhan, 1990, Sensitivity study and validation of a land surface parameterization using the HAPEX-MOBILHY data set, *Bound.-Layer Meteor.*, **52**, 93-134.
- 17- Xue, A., J. E. Pleim, 2001, Development of a land surface model. Part I: Application in a mesoscale meteorological model, *J. Appl. Meteor.*, **40**, 192-209

- 18- Pleim, J. E. and A. Xue, 2003, Development of a land surface model. Part II: Data Assimilation, *J. Appl. Meteor.*, **42**, 1811 -1822.
- 19- Noilhan, J. and J.-F. Mahfouf, 1995, The ISBA land surface parameterization scheme, *Global and Planetary Change*, **13**, 145-159.
- 20- Noilhan, J. E. and S. Planton, 1989, A simple parameterization of land surface processes for meteorological models, *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 536-549.



شکل ۱، طرحواره سطح