

## مروری بر جزییات فیزیکی طرحواره‌های پارامتره سطح در مدل پیش بینی عددی وضع هوا

مهران خدامرادپور<sup>1</sup>، پرویز ایران نژاد<sup>2</sup>، سهراب حجج<sup>3</sup>، رباب مشایخی<sup>4</sup>

1 و 4- مهران خدامرادپور، دانشجوی دکتری هواشناسی، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران،

2 و 3- پرویز ایران نژاد، هیئت علمی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران،

### چکیده

طرحواره‌های پارامتره سطح<sup>1</sup> (طرحواره‌های سطح) به عنوان مولفه مهمی در مطالعات پیش بینی‌های اقلیمی، پیش‌بینی عددی وضع هوا و هیدرولوژی به کار می‌روند. مهم‌ترین وظیفه این طرحواره‌ها، حل بودجه‌های انرژی و آب در سطح خشکی است. مدل MM5 پنجمین نسخه مدل میان مقیاس دانشگاه پنسیلوانیا و مرکز ملی تحقیقات جو<sup>2</sup> می‌باشد که در مطالعات آلودگی هوا، پیش‌بینی عددی وضع هوا و هیدرولوژی استفاده می‌شود. این مدل شامل طرحواره‌های پارامتره سطح، تابش، همرفت، لایه مرزی و بارش است که مستقیماً با یکدیگر بر هم کنش دارند. طرحواره‌های پارامتره‌سازی سطح در این مدل میان مقیاس شامل طرحواره‌های سطح<sup>3</sup>، واداشت<sup>4</sup>، باز یافت<sup>4</sup>، پنج لایه‌ای خاک،<sup>5</sup> OSU و<sup>6</sup> PX است. با توجه به اهمیت طرحواره‌های پارامتره سطح در این مقاله سعی شده است که جزییات فیزیکی این طرحواره‌های سطح بکار رفته در مدل میان مقیاس MM5، به‌طور کامل مورد بررسی قرار گیرد.

**واژگان کلیدی:** طرحواره‌های پارامتره سطح، طرحواره سطل، طرحواره واداشت- باز یافت، طرحواره OSU و طرحواره PX.

### مقدمه

این تبادلات نه تنها به حرکات ملکولی و اغتشاشی در جو بلکه به فرآیندهای هیدرولوژی سطح خاک و رفتار زیست کره قاره‌ای وابسته است. از این دیدگاه، سطح خشکی را می‌توان به عنوان لایه‌ای شامل پایین‌ترین بخش لایه مرزی جو، چند متری بالای سطح خاک، زیست کره قاره‌ای و سطح آب‌های داخل قاره‌ها در نظر گرفت. طرحواره‌های سطح به طور کلی دارای دو بخش ترمودینامیکی و آبی هستند. بخش ترمودینامیکی شار انرژی سطح را محاسبه می‌کند به طوری که تابش خالص ورودی به شارهای گرمای نهان، محسوس، خاک و انرژی ذوب برف تقسیم می‌شود. در بخش آبی طرحواره‌های سطح، شار آب محاسبه می‌شود به طوری که بارش به تبخیر- تعرق، رواناب و تغییرات رطوبت خاک تقسیم می‌شود. چرخه‌های آب و انرژی از طریق شار گرمای نهان و تبخیر- تعرق با یکدیگر در ارتباط هستند.

امروزه طرحواره‌های پارامتره سطح به عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌ها در مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا و گردش کلی جو مطرح هستند. بیست سال پیش، ورسترات و دیکسن<sup>7</sup> اشاره کردند که یکی از عوامل محدود کننده دقت و توان پیش‌بینی مدل‌های گردش کلی این است که فرآیندهای سطح خشکی‌ها با جزییات کافی در این مدل‌ها وارد نشده است (19). از آن زمان، تلاش گسترده‌ای صرف بهبود ارائه فرآیندهای سطح و بویژه فرآیندهای هیدرولوژی آن به‌عنوان هسته مرکزی طرحواره‌های سطح، در مدل‌های اقلیمی جهانی و پیش‌بینی هوا شده است. با این حال شبیه‌سازی تراز آبی سطح در مدل‌های اقلیمی و پیش‌بینی هوا هنوز از حالت مطلوب فاصله زیادی دارد (ایران نژاد و هندرسن- سلرز<sup>8</sup> (9 و 8). در سطح مشترک جو- سطح (سطح خشکی)<sup>9</sup> تبادل تکانه، انرژی و جرم صورت می‌گیرد.

1. Land Surface Scheme

3. Bucket

5. Oregon State University

7. Verstraete and Dickinson

9. Land Surface

2. National Centre for Atmospheric Research

4. Force-Restore

6. Pleim and Xue

8. Irannejad and Henderson-Sellers

10. Manabe

معرفی دقیق‌تری از فرآیندهای برهم کنش جو-سطح می‌باشد.

مدل MM5 پنجمین نسخه مدل میان‌مقیاس دانشگاه پنسیلوانیا و مرکز ملی تحقیقات جو است و به صورت گسترده‌ای در مطالعات آلودگی هوا، پیش‌بینی عددی وضع هوا و هیدرولوژی استفاده می‌شود. این مدل شامل طرحواره‌های پارامتره سطح، تابش، همرفت، لایه مرزی و بارش است که با یکدیگر مستقیماً بر هم کنش دارند.

### طرحواره‌های سطح مدل MM5

طرحواره‌های پارامتره کردن سطح در مدل میان‌مقیاس MM5 شامل طرحواره‌های سطل، واداشت-بازیافت، پنج لایه‌ای خاک، OSU و PX است. طرحواره سطل همچنان که قبلاً ذکر شد دارای یک لایه خاک است که تنها متغیر پیش‌یابی آن رطوبت خاک است. طرحواره واداشت-بازیافت دارای دو لایه خاک است که متغیر پیش‌یابی آن دمای خاک است. طرحواره پنج‌لایه‌ای خاک دارای پنج لایه خاک است و متغیرهای پیش‌یابی آن دما و رطوبت خاک است. طرحواره OSU شامل چهار لایه خاک است و متغیرهای پیش‌یابی آن دمای خاک، رطوبت خاک و مقدار پوشش برف است. همچنین طرحواره PX شامل دو لایه خاک است که متغیرهای پیش‌یابی آن دما و رطوبت خاک است و خوراند غیر مستقیم داده‌ها در آن بکار می‌رود. این طرحواره‌های سطح در بخش بعد به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرند.

### طرحواره سطل

اولین بار منابه (1969) طرحواره هیدرولوژی سطح را به صورت خام در مدل‌های گردش کلی جو وارد کرد (شکل 1) (13). در این طرحواره دو مفهوم اساسی شامل ظرفیت نگهداری زراعی<sup>2</sup> و نقطه پژمردگی<sup>3</sup> بکار می‌رود و

اولین بار در سال 1969 منابه<sup>10</sup> طرحواره هیدرولوژی سطح را به صورت خام در مدل‌های گردش کلی جو وارد کرد. در این طرحواره، خاک به شکل تک‌لایه و از نظر پاسخ هیدرولوژیکی به شکل سطل در نظر گرفته می‌شود که با بارندگی پر و در اثر تبخیر خالی می‌شود (13). رواناب سطحی زمانی رخ می‌دهد که سطل در اثر بارش پر شود. در این طرحواره اثر پوشش گیاهی به طور 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 قاره‌ای 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<sup>1</sup> در سال 1977 اولین بار مدل دو لایه‌ای خاک را برای محاسبه رطوبت خاک در مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا بکار برد که بعداً با وارد کردن یک لایه پوشش گیاهی در این مدل دو لایه‌ای خاک، طرحواره سطح مناسبی را برای کاربرد در مدل‌های گردش کلی جو ارائه داد (6 و 7). 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 پخش رطوبت، مقداری رطوبت از لایه پایین 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 شبکه‌های مربعی دارای پوشش گیاهی، پوشش گیاهی موجب تضعیف بارش و تابش موج کوتاه رسیده به زمین می‌شود. به تدریج طرحواره‌های پارامتره سطح براساس هدف‌ها و کاربردهای مختلف آنها در بخش‌های مختلف گسترش یافت و هدف تمام آنها

1. Deardorff  
3. Wilting point

2. Field capacity

(2)

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

در رابطه (2)،  $P_r$  بارش کل،  $E_v$  تبخیر-تعرق،  $S_m$  ذوب برف و  $R_o$  رواناب سطحی است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود که در آن، ظرفیت نگهداری زراعی و  $w_{fc}$  بازه زمانی است. هم‌چنین اگر سطح با برف پوشیده شده و یا رطوبت در دسترس خاک صفر باشد تبخیری از سطح خاک صورت نمی‌گیرد.

(3)

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

### طرحواره پنج لایه‌ای خاک

این طرحواره شامل 5 لایه خاک با ضخامت‌های 1، 2، 4، 8 و 16 سانتیمتری از سطح خاک است و متغیر پیش‌یابی آن دمای خاک است. گرما در خاک بیشتر از طریق رسانایی انتقال می‌یابد و آهنگ تغییرات دمای خاک در طرحواره چند لایه‌ای از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

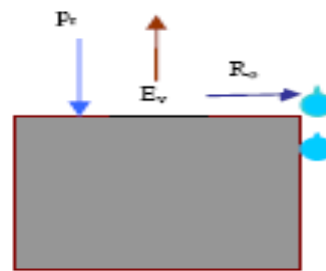
$$\frac{\partial T}{\partial t} = - \frac{1}{C_s} \frac{\partial G}{\partial z} \quad (4)$$

در رابطه (4)،  $C_s$  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 (5)،  $K_h$  رسانایی گرمایی خاک است که به نوع و رطوبت خاک وابسته است. دمای لایه نام،  $T_i$ ، محاسبه شده از رابطه (4)، در هر گام زمانی به‌هنگام شده و به مرکز لایه نسبت داده می‌شود.

لایه خاک مدل شده به‌طور یک پارچه در نظر گرفته شده 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 ریشه‌های گیاه قادر به خارج کردن آب نمی‌باشند و گیاه پژمرده می‌شود. اختلاف این دو مقدار، بیشینه آب قابل دسترس خاک است. منابه برای سادگی مقدار بیشینه آب قابل دسترس خاک را مقدار ثابت 150 میلی‌متر در سطح کل قاره‌ها در نظر گرفت.



شکل 1: طرحواره سطل

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

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

هم‌چنین آهنگ تغییرات رطوبت در دسترس خاک از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

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 لایه‌ای خاک مارت و پن<sup>۴</sup> (1984)، رواناب سطحی شاکه<sup>۵</sup> و همکاران (1996) 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 (12 و 18).

در بخش ترمودینامیکی طرحواره سطح، دمای خاک از طرحواره چند لایه‌ای خاک مارت و پن (1984) محاسبه می‌شود که همان رابطه شار گرمایی در طرحواره چند لایه‌ای خاک (رابطه 4) است و برای محاسبه رسانایی گرمایی خاک رابطه (8) استفاده شده است (12).

$$K_h = \begin{cases} 420e^{-2/7+P_f} & P_f \leq 5/1 \\ 0/1744 & P_f > 5/1 \end{cases} \quad (8)$$

در رابطه (8)، رسانایی گرمایی خاک از طریق  $P_f$  به مقدار رطوبت حجمی خاک وابسته است. همچنین مقدار  $P_f$  به صورت تابعی از پتانسیل ماتریس<sup>۶</sup> اشباع خاک،  $\psi_s$ ، و رطوبت حجمی اشباع خاک،  $\Theta_s$ ، است که هر دو به ساختار خاک وابسته‌اند و از رابطه‌ای که توسط کاسبی<sup>۷</sup> و همکاران (1984) ارائه شد محاسبه می‌شود (5). لازم به ذکر است که پتانسیلی ماتریس، مقدار کاری است که جهت خارج کردن آب از خاک برخلاف نیروی چسبندگی انجام می‌شود و بر حسب متر و یا بار (واحد فشار) بیان می‌شود.

در بخش آبی این طرحواره، رطوبت حجمی خاک از حل عددی معادله ریچاردز<sup>۸</sup> از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

### طرحواره واداشت-بازیافت

این طرحواره ابتدا توسط بومرالکر<sup>۱</sup> (1975) و بلاکادر<sup>۲</sup> (1976) ارائه شد که شامل دو لایه خاک، لایه نازک بالایی و لایه کف، است (1 و 2). ضخامت لایه نازک بالایی چند میلیمتر و لایه کف نیم متر از سطح خاک در نظر گرفته می‌شود و متغییر پیش‌یابی آن دمای خاک است. دلیل نام گذاری این طرحواره به واداشت-بازیافت 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 دو لایه از روابط زیر محاسبه می‌شود.

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

$$(7)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = -\frac{G_0}{C_s d_2}$$

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  $\tau_1$  تناوب یک روز است. بلاکادر مقادیر ثابت  $3/72$  و  $7/4$  را برای ضرایب واداشت و بازیافت پیشنهاد کرد.

### طرحواره سطح OSU

این طرحواره توسط چن و دادهیا<sup>۳</sup> (2001) ارائه شد که متغیرهای پیش‌یابی آن دمای خاک، رطوبت خاک و مقدار پوشش برف است (3 و 4). این طرحواره شامل 4 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 2 متر در نظر گرفته می‌شود که

4. Mahrt and Pan  
6. Richards equation  
1. Chen and Dudhia  
3. Cosby  
5. Shaake

1. Bhumralkar  
2. Matric potential

در رابطه (13)، ضریب  $\beta_c$  تابعی از مقاومت پوشش گیاهی،  $R_c$ ، است. جکویمن و نویلان<sup>2</sup> مقاومت پوشش گیاهی را بصورت تابعی از تابش خورشید، کمبود فشار بخار آب، دمای هوا و رطوبت خاک محاسبه کردند (10). در این طرحواره، رواناب سطحی از مدل توازن ساده آب (SWB<sup>3</sup>) محاسبه می‌شود که این طرحواره توسط شاخه و همکاران ارائه شده است. مدل توازن ساده آب شامل دو لایه، لایه نازک بالایی و لایه پایینی است که مقدار ذخیره آب در هر لایه محدود است. لایه نازک بالایی حدود چند میلیمتر بالای سطح خاک است و تاثیر 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. همچنین در این مدل، رواناب سطحی زمانی رخ می‌دهد که شدت بارش از بیشینه نفوذ خاک بیشتر باشد. بر این اساس، میزان ماکزیمم نفوذ در این طرحواره به صورت رابطه زیر وارد می‌شود.

$$I_{\max} = P_d \frac{D_x [1 - \exp(-kdt\delta_i)]}{P_d + D_x [1 - \exp(-kdt\delta_i)]} \quad (13)$$

در رابطه (14)،  $\delta_i$  گام زمانی مدل بر حسب مقیاس زمانی روزانه ( $\frac{\delta_t}{86400}$ ) است و  $kdt$  و  $D_x$  از روابط زیر محاسبه می‌شود به طوری که  $K_s$  رسانایی هیدرولیکی اشباع،  $kdt_{\text{ref}} = 3$  و  $K_{\text{ref}} = 2 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$  است.

$$kdt = kdt_{\text{ref}} \frac{K_s}{K_{\text{ref}}} \quad (15)$$

$$(16)$$

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

در این طرحواره، سطح مدل ساده برف وارد شده که شامل یک لایه پوشش برف است و متغیرهای پیش‌یابی آن

(9)

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

در رابطه (9)،  $F_{\Theta}$  چشمه و چاهه رطوبت خاک (مانند بارش، تبخیر و رواناب) و  $K$  و  $D$  رسانایی هیدرولیکی و پخش هیدرولیکی خاک هستند که هر دو به رطوبت حجمی خاک وابسته‌اند. تبخیر کل در این طرحواره شامل تبخیر مستقیم از سطح خاک، تبخیر از بخش مرطوب پوشش گیاهی و تعرق از بخش خشک پوشش گیاهی است. مهفوف و نویلان<sup>1</sup> (1991) جهت محاسبه تبخیر مستقیم از سطح خاک،  $E_{\text{dir}}$ ، رابطه خطی زیر را ارائه کردند (11).

(10)

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

در رابطه (10)،  $\sigma_f$  کسر پوشش گیاهی سلول شبکه،  $E_p$  تبخیر پتانسیلی پنمن، و  $\beta$  ضریبی است که تابع رطوبت در دسترس خاک است. همچنین تبخیر از بخش مرطوب پوشش گیاهی تابعی از محتوای آب پوشش گیاهی ناشی از برگایی،  $W_c$ ، و بیشینه ظرفیت نگهداری آب پوشش گیاهی،  $s$ ، است که در رابطه زیر صادق است:

(11)

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

در این طرحواره مقدار  $n$  ثابت و برابر با 0/5 در نظر گرفته می‌شود.

همچنین تعرق از بخش خشک پوشش گیاهی نیز از رابطه زیر بدست می‌آید.

(12)

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

دو لایه بالایی و پایینی،  $T_s$  و  $T_2$ ، از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = C_T(R_n - H - LE) - \frac{\gamma\pi}{\tau}(T_s - T_r) \quad (20)$$

$$\frac{\partial T_r}{\partial t} = \frac{1}{\tau}(T_s - T_r)$$

در روابط بالا،  $\tau$  تناوب یک روز،  $R_n$  تابش خالص (مجموع تابش خالص موج کوتاه و بلند)،  $H$  و  $LE$  به ترتیب شار گرمای محسوس و گرمای نهان از جو به سطح است. همچنین نویلان و پلانتون (1989) جهت محاسبه ضریب  $C_T$ ، مجموع ظرفیت گرمایی حجمی خاک و پوشش گیاهی، رابطه زیر را ارائه کردند (16).

$$(21)$$

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

در رابطه (21)،  $veg$  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 برگایی)،  $W_r$ ، از روابط زیر محاسبه می‌شود.

مقدار تجمعی برف و مقدار تصعید و ذوب برف است. شار گرما بین برف و خاک در این مدل از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$G = K_{snow}(T_s - T_{soil}) / D_{snow} \quad (17)$$

در رابطه (17)،  $T_s$  دمای سطح برف است زمانی که 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  $\frac{w}{mK^\circ}$  در نظر گرفته شده است. همچنین  $D_{snow}$  عمق برف است که ده برابر مقدار آب معادل برف در نظر گرفته می‌شود.

با داشتن مقدار شار گرما بین برف و خاک می‌توان تبخیر پتانسیلی را با استفاده از معادله توازن انرژی سطح محاسبه کرد.

#### طرحواره پارامتره سطح PX

این طرحواره ابتدا توسط شو و پلایم<sup>2</sup> (2001) ارائه شد که متغیرهای پیش‌یابی آن دما و رطوبت خاک است و روش خوراند غیر مستقیم<sup>3</sup> (پلایم و شو، 2003) برای داده‌های رطوبت خاک در آن بکار می‌رود (17 و 20). اساس این طرحواره، طرحواره سطح<sup>4</sup> ISBA است که توسط نویلان و مهفوف (1995) 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 می‌شود (16). در طرحواره سطح، PX، مدل دولایه ای خاک شامل لایه سطحی با ضخامت یک سانتیمتری،  $d_1$  و ناحیه ریشه با ضخامت یک متری از سطح خاک،  $d_2$ ، در نظر گرفته می‌شود. آهنگ تغییرات دمای خاک در

1. Mahfouf and Noilhan
2. Indirect Data Assimilation
3. Simple Water Balance

در روابط بالا،  $\rho_a$  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 آئرو دینامیکی هوا و  $R_s$  مقاومت پوشش گیاهی است. همچنین  $\sigma$  بخش مرطوب پوشش گیاهی ناشی از برگابی است که توسط دیردورف (1978) از رابطه زیر محاسبه می شود (7).

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

در رابطه (24)،  $W_{rmax}$  بیشینه ظرفیت نگهداری آب پوشش گیاهی است. همچنین ضرایب  $h_u$  و  $h_v$  در رابطه (23) 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 می شود و زمانی بکار می رود که جفت شدگی سطح و جو شدید است. همچنین ضرایب سوق دادن<sup>1</sup> در آن براساس 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.

$$(22)$$

$$\frac{\partial w_g}{\partial t} = \frac{C_1}{\rho_w d_1} (P_g - E_g) - \frac{C_1}{\tau} (w_g - w_{geq}) \quad \cdot \leq w_g \leq w_{sat}$$

$$\frac{\partial w_r}{\partial t} = \frac{1}{\rho_w d_r} (P_g - E_g - E_{tr}) - \frac{C_r}{d_r \tau} \max [0, (w_r - w_{fc})] \quad \cdot \leq w_r \leq w_{sat}$$

$$\frac{\partial W_r}{\partial t} = vegP - (E_v - E_{tr}) - R_r \quad \cdot \leq W_r \leq W_{rmax}$$

در روابط بالا،  $\rho_w$  چگالی آب،  $E_g$  تبخیر مستقیم از سطح خاک،  $P_g$  بارش موثر (صرف نظر از برگابی)،  $E_v$  تبخیر از بخش مرطوب پوشش گیاهی،  $E_{tr}$  آهنگ تعرق،  $\tau$  پریود یک روز،  $R_r$  رواناب ناشی از برگابی (مقدار اضافی بارش روی سطح پوشش گیاهی که بیش از ظرفیت نگهداری پوشش گیاهی است) و  $w_{geq}$  مقدار رطوبت حجمی سطح خاک است زمانی که نیروهای گرانشی و موینگی در تعادل باشند. همچنین  $C_1$  و  $C_2$  ضرایب واداشت و بازیافت و ضریب  $C_3$  ضریب زهکشی<sup>1</sup> 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 محاسبه می شود.

$$E_g = \rho_a \frac{(1 - veg)}{R_a} (h_u q_{sat}(T_s) - q_a)$$

$$E_v = \rho_a \frac{veg}{R_a} h_v (q_{sat}(T_s) - q_a) \quad (23)$$

$$E_{tr} = veg \frac{1 - \sigma}{R_a + R_s} (q_{sat}(T_s) - q_a)$$

1. Xue and Pleim Drainage

3. Interaction between Soil, Biosphere, Atmosphere model

پیش‌بینی عددی وضع هوا و مدل‌های اقلیمی و در دسترس نبودن منبعی جامع و کامل در ارتباط با طرحواره‌های سطح مدل MM5، لذا در این مقاله سعی شده است که جزئیات فیزیکی این طرحواره‌های سطح به‌طور کامل مورد بررسی قرار گیرد.

### منابع

1. Bhumralkar, C. M., 1975, Numerical experiments on the computation of ground surface temperature in atmospheric general circulation models, *J. Appl. Meteor.*, 14, 1246-1258.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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
6. Deardorff, J. W., 1977, A parameterization of ground-surface moisture content for use in atmosphere prediction models, *J. Appl. Meteor.*, 16, 1182-1185.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Jacquemin, B. and J. Noilhan, 1990, Sensitivity study and validation of a land

(26)

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

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

در رابطه (26)، اندیس‌های بالانویس  $a$  و  $f$

نشان دهنده داده‌های مشاهداتی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل و ضرایب  $\alpha_{1,2}$  و  $\beta_{1,2}$  ضرایب سوق‌دادن می‌باشند. ضرایب  $\alpha_{1,2}$  روی بخش 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.

### نتیجه‌گیری

طرحواره‌های پارامتره سطح بکار رفته در مدل MM5 داری جزئیات فیزیکی متفاوتی می‌باشند که شامل طرحواره‌های سطل، واداشت-بازیافت، پنج لایه‌ای خاک، طرحواره سطح OSU و طرحواره سطح PX می‌باشد. طرحواره سطل دارای یک لایه خاک است و تنها متغیر پیش‌یابی آن رطوبت در دسترس خاک است. طرحواره پنج لایه‌ای خاک دارای پنج لایه خاک است و متغیر پیش‌یابی آن دمای خاک است که دمای خاک محاسبه شده در هر لایه به مرکز آن لایه نسبت داده می‌شود. طرحواره واداشت-بازیافت دارای دو لایه خاک، لایه نازک بالایی و لایه کف است و متغیر پیش‌یابی آن دمای خاک است. طرحواره OSU شامل چهار لایه خاک است و متغیرهای پیش‌یابی آن دمای خاک، رطوبت خاک و مقدار پوشش برف است. طرحواره PX شامل دو لایه خاک است که متغیرهای پیش‌یابی آن دما و رطوبت خاک است و خوراند غیر مستقیم برای داده‌های رطوبت خاک در آن بکار می‌رود. با توجه به اهمیت طرحواره‌های سطح در مدل‌های



- meteorological models, *Mon. Wea. Rev.*, 117, 536-549.
16. Noilhan, J. and J.-F. Mahfouf, 1995, The ISBA land surface parameterization scheme, *Global and Planetary Change*, 13, 145-159.
  17. Pleim, J. E. and A. Xue, 2003, Development of a land surface model. Part II: Data Assimilation, *J. Appl. Meteor.*, 42, 1811-1822.
  18. 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.
  19. Verstraete, M. M. and R. E. Dickinson, 1986, Modeling surface processes in atmospheric general circulation models, *Ann. Geophys.*, 4(B), 357-364.
  20. 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.
  11. Mahfouf, J. F., and J. Noilhan, 1991, Comparative study of various formulations from bare soil using in situ data. *J. Appl. Meteor.*, 30, 1354-1364.
  12. Mahrt, L. and H. L. Pan, 1984, A two-layer model of soil hydrology, *Bound-Layer Meteor.*, 29, 1-20
  13. Manabe, S, 1969, Climate and ocean circulation: 1. The atmospheric circulation and hydrology of the earth surface, *Mon. Wea. Rev.*, 97, 739-774
  14. 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.
  15. Noilhan, J. E. and S. Planton, 1989, A simple parameterization of land surface processes for surface parameterization using the HAPEX-MOBILHY data set, *Bound-Layer Meteor.*, 52, 93-134.