بسم الله الرحمن الرحيم

آموزش و معرفی مدل

DAISY

نویسنده:

پر آبراهمسن

مترجمان:

علی شاهنظری

استاد گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

هدیه پوریزدان‌خواه

دکترای آبیاری و زهکشی

سرشناسه	:	آبراهامسن، پر Abrahamsen, Per
عنوان و نام پدیدآور	:	آموزش و معرفی مدل DAISY/ نویسنده پر آبراهمسن؛ مترجمان علی شاه‌نظری، هدیه پوریزدان‌خواه؛ داوری علمی معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری ؛ ویراستار ادبی محمدرضا دیری.
مشخصات نشر	:	ساری: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری	:	۱۴۶ص.
شابک	:	978-622-6860-77-2
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	عنوان اصلی: Daisy Tutorial : Equation Section 1: Daisy, a flexible .Soil-Plant-Atmospheresystem Model
موضوع	:	فراورده‌های زراعی و آب -- شبیه‌سازی Crops and water -- Simulation methods فراورده‌های زراعی و خاک -- شبیه‌سازی کامپیوتری Crops and soils -- Computer simulation فراورده‌های زراعی و نیتروژن -- شبیه‌سازی Crops and nitrogen -- Simulation methods آب -- مهندسی -- الگوهای ریاضی Hydraulic engineering -- Mathematical models خاک -- مکانیک -- شبیه‌سازی کامپیوتری Soil mechanics -- Computer simulation
شناسه افزوده	:	شاه‌نظری، علی، ۱۳۵۱ -، مترجم
شناسه افزوده	:	پوریزدان‌خواه، هدیه، ۱۳۶۶-، مترجم
شناسه افزوده	:	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. معاونت پژوهشی
شناسه افزوده	:	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
رده بندی کنگره	:	SB ۱۸۵/۶
رده بندی دیویی	:	۶۳۱/۷
شماره کتابشناسی ملی	:	۹۱۵۳۵۵۴
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:	فیپا

داوری علمی و تأیید شده در معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

آموزش و معرفی مدل DAISY

مترجمان	:	دکتر علی شاهنظری، هدیه پوریزدان‌خواه
ناشـــر	:	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
ویراستار ادبی	:	دکتر محمدرضا دیری
تیـــراژ	:	۱۰۰۰ نسخه
نوبت چاپ	:	اول ، ۱۴۰۲
قیمت	:	۸۵۰۰۰ تومان
چاپ	:	نوروزی

هر گونه چاپ و تصویربرداری به هر شکل و تکثیر صفحات کتاب ممنوع می‌باشد.

مرکز نشرو پخش: تلفن :۰۱۱۳۳۶۸۷۴۳۷ فاکس : ۰۱۱۳۳۶۸۷۴۴۲

فهرست

فصل اول: آموزش مدل Daisy ۱
۱- آموزش گام‌به‌گام مدل Daisy ۲
خلاصه ۲
۱-۱- بازیابی و نصب فایل‌ها ۲
۱-۲- مثال ۳
۱-۲-۱ فایل‌های ورودی ۳
۱-۲-۲ آب‌وهوا ۴
۱-۲-۳ افق خاک ۴
۱-۲-۴ ستون خاک ۶
۱-۲-۴-۱ خاک ۷
۱-۲-۴-۲ مواد آلی ۸
۱-۲-۴-۳ آب‌های زیرزمینی ۹
۱-۲-۴-۴ مرحله کاربرد (Using it) ۹
۱-۲-۵ ستون خاک ۹
۱-۲-۶ مدیریت کشاورزی ۹
۱-۲-۷ خروجی ۱۳
۱-۳- آب‌وهوا ۱۵
۱-۳-۱ مقیاس‌بندی کردن میزان بارش ۱۵
۱-۳-۲ سال‌ها با اطلاعات از دست رفته ۱۵
۱-۴- ستون خاک ۱۶
۱-۴-۱ کربن ورودی ۱۶
۱-۴-۲ قابلیت معدنی شدن ۱۷
۱-۴-۳ ویژگی‌های هیدرولیکی ۱۹
۱-۴-۴ آب زیرزمینی و زهکش ۲۰

۱-۴-۴-۱ افق‌های لایه آبخوان ۲۱
۱-۴-۴-۲ خلل‌وفرج درشت ۲۲
۱-۴-۵ تبخیر-تعرق ۲۳
۱-۴-۵-۱ تبخیر-تعرق مرجع و پتانسیل ۲۴
۱-۴-۶ شبکه‌بندی ۲۵
۱-۴-۷ مقداردهی محتویات خاک ۲۶
۱-۴-۷-۱ رطوبت خاک ۲۶
۱-۴-۷-۲ نیتروژن خاک ۲۷
۱-۴-۷-۳ دمای خاک ۲۸
۱-۵- مدیریت ۲۸
۱-۵-۱ مدیریت زراعی ۲۸
۱-۵-۱-۱- تناوب کشت ۲۹
۱-۵-۲ خاک‌ورزی ۳۰
۱-۵-۲-۱- قابلیت تردد ۳۱
۱-۵-۳ کاشت و برداشت ۳۱
۱-۵-۳-۱- بقایای گیاهی ۳۲
۱-۵-۳-۲- وجین چندباره ۳۲
۱-۵-۴ کوددهی ۳۴
۱-۵-۴-۱- کود معدنی ۳۵
۱-۵-۴-۲- کود آلی ۳۵
۱-۵-۴-۳- بهره‌وری سال اول و دوم ۳۶
۱-۵-۴-۴- صحت کوددهی ۳۷
۱-۵-۴-۵- ترکیب کردن ۳۸
۱-۵-۵ آبیاری ۳۹
۱-۵-۵-۱- شرایط ۴۰

۱-۵-۵-۲- استراتژی ۴۰
۱-۵-۶ آفت‌کش‌ها ۴۲
۱-۵-۶-۱- تعریف آفتکش جدید ۴۲
۱-۵-۶-۲- تاج گیاهی ۴۳
۱-۵-۶-۳- سطح خاک و جذب توسط ریشه ۴۴
۱-۵-۶-۴- تجزیه ۴۴
۱-۵-۶-۵- انتقال ۴۵
۱-۵-۶-۶- مدل‌های ورودی آفت‌کش‌ها ۴۵
۱-۶- فایل‌های ورودی ۴۶
۱-۶-۱ فعال‌سازی خروجی ۴۷
۱-۷- رسم نتایج شبیه‌سازی ۴۷
۱-۷-۱ صفحات گسترده (Spreadsheets) ۴۸
۱-۷-۲ نمایش خروجی مدل (ShowDaisyOutput) ۴۸
۱-۷-۳ ایجاد دستورات gunplot از Daisy ۴۹
۱-۷-۴ مثال ساده ۴۹
۱-۷-۵ مثال پیچیده ۵۰
۱-۷-۶ مدل منبع "محاسباتی" ۵۲
۱-۷-۷ فایل‌های اطلاعاتی Daisy (*.ddf) ۵۳
۱-۸- مدیریت کردن مقادیر پارامتری ۵۳
۱-۸-۱- کپی نکنید، تعریف کنید ۵۴
۱-۸-۲- مسیر Daisy ۵۵
الف. ویژگی‌های تجربی ۵۷
الف. ۱. یخ ۵۷
الف. ۲. توده خاک ۵۷
الف. ۳. فسفر ۵۷

الف. ۴. تقسیم و ترکیب زمینه‌ها ۵۷
الف. ۵. مرزبندی ۵۷
الف. ۶. LAI اجباری ۵۸
الف. ۱. ۶. مدل‌های فراخوان شده ۵۹
ب. آزمایش (test.dai) ۵۹
ج. فهرست مراجع مربوطه ۶۱
د. فایل‌های فراخوان شده استاندارد ۶۲
د. ۱. برداشت ۶۲
د. ۲. آب مزرعه ۶۴
د. ۳. رطوبت خاک ۶۶
د. ۴. نیتروژن مزرعه ۶۷
د. ۵. نیتروژن خاک ۷۰
د. ۶. مواد شیمیایی مزرعه ۷۳
د. ۷. مواد شیمیایی خاک ۷۶
فصل دوم: معرفی زیرمدل‌های Daisy ۷۹
۲- مقدمه ۸۱
۲-۱- نرم‌افزار مدل Daisy ۸۳
۲-۲- تبخیر-تعرق پتانسیل ۸۵
۲-۳- بیلان آب سطحی ۸۸
۲-۴- حائل ۸۹
۲-۵- برف ۸۹
۲-۶- غرقاب ۹۱
۲-۷- تبخیر و تعرق از خاک ۹۲
۲-۸- مکانیک حرکت آبِ خاک ۹۲
۲-۹- جریان عمودی آب، رطوبت خاک و پتانسیل فشاری در منطقه غیراشباع ۹۳

۲-۱۰- شدت برداشت پتانسیل ۹۵
۲-۱۱- استخراج آبِ خاک توسط ریشه‌ها ۹۵
۲-۱۲- لوله‌های زهکشی ۹۶
۲-۱۳- بیلان گرمای خاک ۹۷
۲-۱۴- شرایط مرزی ۹۹
۲-۱۵- حل عددی ۱۰۰
۲-۱۶- ظرفیت گرمایی خاک ۱۰۱
۲-۱۷- هدایت گرمایی خاک ۱۰۱
۲-۱۸- بیلان املاح خاک ۱۰۷
۲-۱۹- بیلان املاح سطحی ۱۰۷
۲-۲۰- بیلان املاح خاک ۱۰۸
۲-۲۱- حرکت املاح درسطوح ریشه ۱۱۰
۲-۲۲- مدل بیلان نیتروژن ۱۱۱
۲-۲۳- تغییر و تبدیل معدنی‌شدن-تثبیت ۱۱۲
۲-۲۴- نیتریفیکاسیون ۱۲۰
۲-۲۵- دی نیتریفیکاسیون ۱۲۲
۲-۲۶- نیتروژن جذب شده توسط گیاه ۱۲۴
۲-۲۷- آبشویی ۱۲۵
۲-۲۸- رسوبِ جوّی و کوددهی ۱۲۵
۲-۲۹- مدل بیلان آفت‌کش‌ها ۱۲۶
۲-۳۰- تجزیه آفت‌کش‌ها ۱۲۷
۲-۳۱- جذب توسط ریشه ۱۲۷
۲-۳۲- انتقال جذب سطحی و شستوشو ۱۲۸
۲-۳۳- مدل محصول ۱۲۸
۲-۳۴- توسعه رشد ۱۳۰

۲-۳۵- ساختار تاج ۱۳۱
۲-۳۶ فتوسنتز ۱۳۲
۲-۳۷- تقسیمبندی جذب فتوسنتزی، تنفس و تولید خالص ۱۳۳
۲-۳۸- تنفس برای بقا ۱۳۳
۲-۳۹- تقسیم‌بندی جذب فتوسنتزی ۱۳۳
۲-۴۰- تنفس برای رشد ۱۳۴
۲-۴۱- پیری ۱۳۴
۲-۴۲- تولید و توسعه ریشه ۱۳۴
۲-۴۳- جذب آب و تنش آب ۱۳۵
۲-۴۴- جذب نیتروژن و تنش نیتروژن ۱۳۵
۲-۴۵- مدل مدیر ۱۳۶
۲-۴۶- نتایج اظهار شده ۱۳۹
منابع ۱۴۰

شکل‌ها

شکل ۲-۱ نمای شماتیک از مدل بومسازگار زراعی Daisy ۸۲
شکل ۲-۲ روابط بین پارامتر f عامل وزن و g1 عامل شکل ۱۰۵
شکل ۲-۳ هدایت گرمایی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده خاک نسبت به رطوبت ۱۰۶
شکل ۲-۴ مخزن‌ها و زیر مخزن‌های (۱ و ۲) برای مواد آلی و تقسیم‌بندی مربوط به جریان آلی C (و N) بین مخزن‌ها ۱۱۵
شکل ۲-۵ توابع غیرزنده برای اصلاح ضرایب شدت تجزیه نسبت به دمای خاک (الف)، پتانسیل فشاری رطوبت خاک (ب) و محتوای رس(ج) ۱۱۸
شکل ۲-۶ عوامل غیرزنده برای اصلاح ضرایب شدت نیتریفیکاسیون نسبت به دمای خاک (الف) و پتانسیل فشاری آبِ خاک (ب) ۱۲۲
شکل ۲-۷ تابع اصلاح کننده رطوبت اشباع برای تنظیم شدت دینیتریفیکاسیون ۱۲۴
شکل ۲-۸ بررسی اجمالی از جریان کربن در مدل محصول پیش‌فرض گنجانده شده در Daisy ۱۲۹
شکل ۲-۹ ساختار تاج ۱۳۱

'جداول

جدول ۲-۱- چگالی گرمایی ویژه، هدایت حرارتی، ترکیبات مختلف خاک، آب‌وهوا ۱۰۲
جدول۲-۲- پارامترهای تایید شده مدل ۱۱۹
جدول ۲-۳- مقادیر پارامترهایِ مواد آلی افزوده شده به خاک در مدل مواد آلی خاک طی آزمایشات بلندمدت انکوباسیون ۱۲۰
جدول ۲-۴- تعیین تقسیم‌بندی C و نسبت C/N برای مخازن AOM ۱۲۰
جدول ۲-۵- اقدااات مدیریتی مهم مشمول در واحد مدیر Daisy ۱۳۸
جدول ۲-۶- یک نمونه سناریوی مدیریتی ۱۳۹

پیشگفتار

این کتاب ترجمه‌ای از دو مجموعه، راهنمای ارائه شده برای مدل Daisy می‌باشد. Daisy یک مدل انعطاف‌پذیر در سیستم خاک- گیاه- اتمسفر است که برای شبیه‌سازی بیلان آب، بیلان گرما، بیلان املاح و تولید محصول در بوم‌سازگاری زراعی با اعمال راهکارهای مختلف مدیریتی است. در بسیاری از سیستم‌های کشاورزی، عمده‌ترین تلفات نیتروژن به دلیل شست‌وشوی نیترات از مزارع است. در واقع، اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای مورد نیاز برای ارزیابی آبشویی نیترات از مزارع کشاورزی، پرهزینه هستند که این امر، ضرورت توسعه مدل‌های بوم‌سازگار زراعی را که قادر به شبیه‌سازی میزان شست‌وشو هستند، را نشان می‌دهد. در دانمارک، این امر منجر به توسعه مدل Daisy شد که در دانشگاه کپنهاگ دانمارک بسط و توسعه یافت. مدل Daisy یکی از جامع‌ترین مدل‌ها در علوم آبِ خاک است که قادر است با تعریف سناریوهای مدیریتی پیچیده اعم از آبیاری‌های مختلف، استفاده از کود، علف‌کش و آفت- کش‌ها و عملیات کشاورزی مختلف، شرایط سیستم آبَ خاک را با در نظر گرفتن شرایط مرزی و جوی برای گیاهان مختلف شبیه‌سازی نماید. با توجه به کاربردی بودن این مدل در علوم آب‌وخاک، بر آن شدیم تا مجموعه‌ی حاضر را در دو بخش، "آموزش مدل Daisy" و "معرفی زیر مدل‌های Daisy" گردآوری کنیم تا کاربری آسان‌تری از این مدل را در اختیار مهندسین کشاورزی، متخصصان علوم آب‌وخاک، دانشجویان ارشد و دکتری و محققین و علاقه‌مندان علوم کشاورزی قرار دهیم.

ازآنجایی‌که این مدل، با استفاده از دستورات خطی و نوشتاری، قادر به اجرا می‌باشد، در بخش اول این کتاب با عنوان "آموزش مدل Daisy"، دستورات نحوی و نوشتاری مدل، با ذکر مثالی به تشریح و گام‌به‌گام شرح داده شده است تا نحوه‌ی کارکرد این مدل برای کاربران داخل کشور، در دسترس و راحت‌تر باشد. این بخش با ذکر راه‌های نصب فایل‌های مربوطه شروع شده و گام‌به‌گام با تعریف فایل‌های ورودی مورد نیاز به اجرای مدل می‌پردازد که در انتهای این بخش، مثال کامل و قابل اجرایی در اختیار خوانندگان گرامی قرار می‌گیرد. بخش دوم کتاب حاضر با عنوان "معرفی زیر مدل‌های Daisy"، تمام زیرمدل‌های به‌کار گرفته شده در مدل را توصیف کرده و شرایط و روابط ارائه شده و قابل بحث در هر یک از زیرمدل‌ها را به تفصیل شرح می‌دهد. مطالعه این بخش، به کاربران کمک می‌کند تا با شرایط‌های مختلف قابل اجرا در زیرمدل‌ها بیشتر آشنا شوند و از آن‌ها در اجرای مدل بهره گیرند؛ به‌عنوان مثال با مطالعه این بخش، خوانندگان محترم به توانایی مدل برای شبیه‌سازی شرایط برف، یا بارش حائل و مفهوم به‌کارگیری آن‌ها

در مدل پی می‌برند که در صورت نیاز برای شرایط موجود خود، قادر به تعریف و اجرای آن‌ها در مدل خواهند بود.

شایان ذکر است، که در ترجمه این کتاب امانت‌داری انجام شده و ترتیب مطالب و تقسیمات آن بر اساس اصل متن می‌باشد در برخی افعال برای فهم بهتر خوانندگان تغییراتی ایجاد شده است. امید است این کتاب، کمکی کوچکی در راه اندیشه و علوم بیکران این مرز و بوم باشد، تا با حفظ آب‌وخاک این سرزمین، محیط‌زیست بهتری برای آیندگانمان بسازیم.

زمستان ۱۴۰۰

فصل اول: آموزش
مدل Daisy

۱- آموزش گام‌به‌گام مدل Daisy

Per Abrahmsen, March 26 2014
Copenhagen University
Department of Plant and Enviromental Sciences
Section for Environmental Chemistry and Physics

خلاصه

به آموزش مدل Daisy خوش‌آمدید. هدف از نگارش این فصل، آموزش کاربردی مدل Daisy همراه با ذکر یک مثال است؛ اما شامل کلیه دستورالعمل‌های قابل ارجاع در مدل Daisy نمی‌باشد، جهت این مورد به مرجع (Abrahmsen, 1999) مراجعه گردد. همچنین هدف از توضیحات این فصل، ارائه مدل‌های فیزیکی و ریاضی ارائه شده در نرم‌افزار Daisy نیست، برای اطلاع از این موضوع به مرجع (Hansen et al., 1990) و فصل دوم (Hansen, 2002) مراجعه نمایید.

امید است بر اساس آموزش مقدماتی ارائه شده در این بخش و مثال‌های آن، شما کاربران بتوانید، استفاده از مدل Daisy را شروع نموده و پس از آشنایی کافی با سیستم، زمانی که نیاز به فراتر رفتن باشد، می‌توان از دستورالعمل کامل مدل به‌خوبی استفاده نمود. Daisy شامل تعداد بسیار زیادی از دستورالعمل‌های راهبردی بر اساس شاخص‌های تنظیم‌پذیر است، که تنها بخش بسیار کوچکی از آن در این مجموعه آورده شده است. بااین‌حال، جزئی‌ترین راهکارها در مرجع دستورالعمل‌ها آورده شده است، که به‌طور خودکار از قابلیت اجرایی مدل تولید و جمع‌آوری شده است.

اگر سؤال یا پیشنهادی، در زمینه دستورالعمل‌ها و یا خود سیستم مدل Daisy به‌وجود آمد، می‌توانید با مؤلفین در <daisy@dina.kvl.dk> ارتباط برقرار نمایید.

۱-۱- بازیابی و نصب فایل‌ها

ابتدا Daisy را نصب و با یک جستجوگر اینترنتی، به آدرس http://code.google.com/p/daisy-model/، صفحه اصلی Daisy project وارد شوید. لینک "getting started" را در ابتدای تیتر اصلی صفحه پیدا نموده و دستورالعمل‌های ارائه شده در آن صفحه را دنبال نمایید.

۱-۲- مثال

فایل test.dai شامل اطلاعاتی درباره‌ی شبیه‌سازی است. در اینجا برای خلاصه‌تر شدن، از فایل‌های راه‌اندازی Daisy، یک فایل با پسوند dai. انتخاب می‌گردد. بر اساس قرارداد، فایل‌ها با پسوند dai. به مدل داده می‌شود، در غیر این‌صورت، Daisy از آن پشتیبانی نمی‌نماید. آموزش نوشتن فایل‌های راه‌اندازی Daisy از مهم‌ترین اهداف این آموزش است.

در ابتدا، تمام عبارات فایل test.dai توضیح داده می‌شود (برای مشاهده همه نسخه‌ها به ضمیمه **ب** مراجعه نمایید). خط اول بدین شرح است:

```
;;; test.dai – Samplee fileusing the Daisy libraries.
(description “Simulation for use in tutorial.”)
```

نقطه ویرگول‌ها برای نوشتن نظرات استفاده می‌شوند، هرچه که تا آخر خط نوشته شود از نظر Daisy چشم‌پوشی یا به عبارتی، خوانده نمی‌شود. در واقع، برای شرح اطلاعات مربوط به شبیه‌سازی به‌منظور آگاه سازی افرادی که آن را مطالعه می‌کنند نوشته می‌شود.

به‌همین دلیل ارائه یک توضیح در بالا، ایده بسیار خوبی است. توضیحات ورودی هر فایل تولید شده، این امکان را به کاربر می‌دهد که برای هر فایل چه چیزی را شبیه‌سازی می‌نماید.

۱-۲-۱ فایل‌های ورودی

```
;; Use standard parmeterizations
(input file “tillage.dai”)
(input file “crop.dai”)
(input file “log.dai”)
```

در این مرحله از Daisy خواسته می‌شود سه فایل افزوده شده را بخواند: tillage.dai که شامل توضیحاتی مربوط به عملیات‌های متداول کشت‌وکار کشاورزی مانند شخم زدن، کاشت بذر یا نشاء ؛ crop.dai شامل توضیحاتی در زمینه اطلاعات گیاهی مانند جو بهاره یا چاودار ؛ و log.dai شامل دستورالعمل‌هایی برای Daisy است که شامل فایل‌هایی حاوی اطلاعات از جنبه‌های مختلف شبیه‌سازی، مانند بیلان آب و نیتروژن است. اطلاعات بیشتر در زمینه فایل‌های ورودی را می‌توانید در بخش ۱–۸ مطالعه نمایید.

۱-۲-۲ آب‌وهوا

شرایط آب و هوایی در دوره شبیه‌سازی برای Daisy تعریف گردیده و این شرایط توسط فایل مربوط به آن خوانده می‌شود.

```
;; Weather data.
(weather default “dk-taastrup.dwf”)
```

در این مرحله، مشخص می‌شود که Daisy چگونه اطلاعات مربوط به آب‌وهوا را می‌یابد. همچنین اطلاعات مربوط به آب‌وهوا در چندین فرمت مختلف توسط Daisy خوانده می‌شود. فرمت پیش‌فرض آن dwf که مخفف (Daisy Weather Format) است. فرمت‌های تعیین‌شده در ضمیمه مرجع (Abrahamsen, 1999) آورده شده است.

۱-۲-۳ افق خاک

در این مرحله به مهم‌ترین قسمت شبیه‌سازی یعنی نیم‌رخ یا ستون خاک پرداخته می‌شود. در Daisy ستون، توصیف یک‌بعدی از سامانه کشاورزی است، که آب‌وهوا در قسمت بالا و آب‌های زیرزمینی در قسمت پایین آن قرار دارند. ابتدا نیاز است، دو افق خاک برای آن تعریف گردد. افق، لایه عمودی از لایه خاک با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مشابه می‌باشد. چنانچه در خاک برش عمودی زده شود، معمولاً بین افق‌های خاک وجه تمایز بارزی به چشم می‌آید.

```
;; We have some very sandy soil.
(defhorizon Ap FAO3
“Andeby top soil.”
(clay 8.0 [%])
(silt 10.5 [%])
(sand 81.5 [%])
(humus 1.12 [%])
(C_per_N 11 [g C/g N])
(dry_bulk_density 1.5 [g/cm^3]))
```

در اینجا، لایه افقی تعریف شده Ap نامیده می‌شود (defhorizon مخفف "define horizon" است). همانند آن بخش آب‌وهوا که تعریف گردید، در این قسمت هم کلمه کلیدی FAO3 به معنای آن است که مدل برای افق‌های مشخص شده استفاده می‌گردد. در مدل‌های افق خاک ، بعد از نام‌گذاری،

سیستم‌های طبقه‌بندی بافت خاک[1] نامیده می‌شوند. FAO3 بر اساس سیستم طبقه‌بندی FAO است، لیست کامل مدل‌های افق خاک را می‌توانید در بخش ۴۱ راهنمای دستورالعمل‌های Daisy مشاهده فرمایید.

در این مرحله، تنها می‌توان یکی از مدل‌های ساخته شده را انتخاب نمود، اما به‌راحتی این انتخاب مدل قابل تغییر می‌باشد. سطر سوم با عنوان "Andeby top soil" تعریفی از افق ، و محل مناسبی برای ذکر اطلاعات مربوط به منبع داده‌ها است.

سه پارامتر اول clay، silt و sand (رس، سیلت و شن) باهم بیان‌کننده‌ی بافت خاک می‌باشند. بافت خاک از جنبه‌های زیادی بر شبیه‌سازی اثرگذار است؛ برای مثال میزان جذب آمونیوم بستگی به میزان ذرات رس دارد. پارامترهای هیدرولیکی مانند ویژگی‌های جذب آب نیز بر اساس بافت خاک تخمین زده می‌شود، خاک شنی نسبت به خاک رسی قابلیت نگه‌داری آب کمتری دارد.

چهارمین جزء ارائه شده برای خاک، humus (هوموس) است، که نسبت به سایر موارد باعث معدنی شدن خاک می‌گردد. از این‌رو، خاک حاوی نیتروژن تولید می‌کند. اعداد ارائه شده برای پنج جزء اصلی خاک به یکدیگر مرتبط هستند، به‌طوری‌که نسبت به کل وزن ارائه می‌شود. بنابراین می‌توان آن را به‌صورت کسر یا درصد به‌صورت دلخواه تعیین نمود.

پارامتر C_per_N نسبت C/N در هوموس را مشخص می‌کند. که در معدنی شدن تأثیرگذار است، به‌طوری‌که هر چه مقدار C/N بیشتر باشد، خاک کمتر به معدنی شدن تمایل دارد. در صورت نبود نسبتC/N این پارامتر را وارد مدل ننمایید..

dry_bulk_density با توجه به‌عنوان، چگالی خاک خشک می‌باشد. چنانچه مستقیماً اندازه‌گیری نگردید، می‌توان آن را با عبارت زیر جایگرین نمود:

(hydraulic Cosby_at_al)

این عبارت یک تابع انتقالی که در آمریکا توسعه‌یافته و نیاز به اطلاعات چگالی حجمی خاک خشک ندارد. حتی اگر چگالی حجمی خاک خشک در دسترس باشد، استفاده از Cosby_et_al ممکن است انتخاب بهتری برای شبیه‌سازی باشد. تابع انتقالی پیش‌فرض hypres، نیز بر اساس اندازه‌گیری‌های خاک اروپا (به‌خصوص در شمال آلمان) ارائه شده است.

تمام پارامترهای بافت خاک به [] ختم می‌شوند. این عبارت بیان‌کننده بُعد هر یک از پارامترهامی‌باشد که با کروشه مربعی احاطه شده است. اعداد ارائه شده بصورت کسری، چون بی‌بعد هستند، درون کروشه نوشته نمی‌شود. دو پارامتر آخر عبارات فوق، دارای ابعاد gC/gN و g/cm^3 هستند که می‌تواند یک ایده

۱ سیستم طبقه‌بندی بافت خاک تعیین‌کننده میزان مقادیر ذرات رسی، سیلتی یا شنی موجود در خاک است.

خوب برای تعیین بُعد باشد و به Daisy این امکان را می‌دهد بُعدها را به همان صورتی که شما تصور می‌کنید بررسی نماید. نبود تفهیم بّعدها یکی از اشتباهات رایج می‌باشد.

```
(defhorizon C AP
"Andeby C horizon."
(humus 0.12 []))
```

در این مرحله به‌جای FOA3، Ap نامیده شده است. این نام افق خاکی است که پیش از این آورده شده‌است و طبق دستور فوق در Daisy، اطلاعات آن را برای افق جدیدی که تعریف گردیده و C نام‌گذاری شده‌اند تا اطلاعات آن دوباره استفاده گردد. به‌عبارتی، همان بافت افق Ap موجود است، با این تفاوت که هوموس کمتری برای آن تعریف گردیده، چون افق مذکور امتداد یافته و برای خاک‌های پایین‌تر، مقدار هوموس کمتر است.

۴-۲-۱ ستون خاک

در این قسمت، دو افق تعریف گردیده، هم‌اکنون یک ستون خاک تعریف می‌نماییم.

```
;; We build the column from the horizons.
    (defcolumn Andeby default
       "Data collected by F.Guf at the B.And farm, Andeby, 2002."
        (Soil (horizons (-20 [cm] Ap) (-2.5 [m] C))
              (border -1 [m])
              (MaxRootimgDepth 60.0 [cm]))
         (OrganicMatter original
                              (init  (input  1400 [kg C/ha/y])
                              (root  480  [kg C/ha/y])
                               (end -20 [cm])))
          (Groundwater deep))
```

در این قسمت، اسم ستون Andeby نام‌گذاری و از مدل پیش‌فرض برای ستون‌ها در Daisy استفاده گردید. سطرهای ابتدایی default (پیش‌فرض) مربوط به توضیحات و این‌بار به این نکته اشاره شده است که داده از کجا و در چه زمانی جمع‌آوری شده است.

Daisy، یک ستون با چندین زیرسیستم مجزا است، که اکثر آن‌ها دارای مقادیر پیش‌فرض هستند، بنابراین نیاز به تعریف شدن، ندارند. با این حال، برای توصیف خاک نیاز است برای Daisy مکان قرار گرفتن سطح آب زیرزمینی تعریف گردد. همچنین Daisy شامل مقادیر پیش‌فرض برای مواد آلی است،

اما قادر نیستند خیلی مفید واقع شوند، بهتر است از مدل اصلی[۱] با اعمال تغییرات جزئی در مقداردهی اولیه آن‌ها برای تعریف مقدار مواد آلی استفاده گردد،. .
برای مشاهده مثال‌های بیشتر از زیرسیستم‌های دیگر، به بخش ۱-۴ مراجعه گردد.

۱-۴-۲-۱ خاک

(Soil (horizons (-20 [cm] Ap) (-2.5 [m] C))

اولین پارامتر خاک، افق خاک بود، همان‌طور که مشخص گردید به دو افق تقسیم‌بندی شدند، ابتدا در محدوده‌ی ۲۰ سانتی‌متری بالای خاک ، و دومین محدوده‌ی خاک از ۲۰ سانتی‌متری خاک تا عمق ۲/۵ متر پایین آن است. کاربر هر میزان افقی که مایل باشد می‌تواند تعریف نماید؛ مثلاً خاک با سه افق را می‌توان به‌صورت زیر تعریف نمود:

(horizons (-20 [cm] Ap) (-1 [m] B) (-2.5 [m] C))

در این حالت، محدوده افق B از ۲۰ سانتی‌متری تا یک متری تعریف می‌شود. با توجه به این نکته که برای افق اول [cm] و برای بَعدی‌ها [m] درنظرگرفته شد. اگر برای موردی بُعد تعریف نگردد، Daisy اعداد را به سانتی‌متر در نظر می‌گیرد. با این حال، اگر بُعد را به‌صورت [m] تعریف شود، Daisy می‌تواند آن را به واحد تبدیل کند.

یک مرز عددی در عمق یک متری به‌صورت زیر تعیین می‌شود.

(border -1 [m])

پارامتر border (مرز) اختیاری است، اما کاربر در صورت تمایل می‌تواند فاصله خاصی را تعیین نماید، بهتر است مرزهای عددی را در ابتدا و انتهای محدوده به‌منظور دستیابی به نتیجه دقیق، تعیین نمود. مرز عددی بین افق‌ها به‌صورت خودکار وجود دارد.

دیگر پارامتر اجباری خاک، پارامتر MaxRootingDepth (بیشترین عمق توسعه ریشه) است که بیان‌کننده‌ی ممانعت خاک در رشد ریشه بوده و از عمق خاک بیشتر نیست، این بدان معنی است که ریشه گیاه حداکثر تا عمق خاک رخنه نموده و البته بستگی به نوع گیاه دارد. برای راه‌اندازی فایل Daisy ، عدد

---

۱ در این نقطه، هیچ تناوبی در هیچ یک از مدل‌ها وجود ندارد، که بتواند محاسبه‌ای بر حسب موادآلی انجام دهد، از این‌رو، (توصیف مستقیم آن) باعث صرفه‌جویی در زمان می‌شود.

تعیین شده برای عمق یک عدد مثبت و برعکس، نقطه پایانی لایه خاک به‌صورت یک عدد منفی تعیین می‌شود. در صورت اشتباه Daisy آن را متذکر می‌شود.

۱-۲-۴-۲ مواد آلی

در Daisy علاوه بر دانستن هوموس خاک نیاز به دانستن کیفیت مواد آلی نیز می‌باشد. کیفیت (یا تغییرپذیری) مواد آلی بر این موضوع که چه مقدار معدنی شدن باید از آن انتظار داشت اثرگذار است، این امر بخش بزرگی از بیلان کل نیتروژن می‌باشد.

می‌توان کیفیت مواد آلی خاک را با مقایسه محتوای هوموس نسبت به سطح خاصی از کربن ورودی در دهه‌های قبل از شروع شبیه‌سازی تخمین زد. اگر نسبت کربن ورودی در دوره قبل، بیشتر از حد معمول هوموس باشد، انتظار می‌رود محتوای آن افزایش یابد و در نتیجه بیشتر مقادیر هوموس تازه و ناپایدار خواهد بود. از طرفی، اگر سطح ورودی در مقایسه با محتوای هوموس کمتر باشد، سطح هوموس منقبض شده و بسیاری از هوموس‌های ناپایدار به کلی از بین خواهند رفت.

در واقع در این روش کیفیت هوموسی که در ابتدای دوره شبیه‌سازی در سیستم وجود دارد تخمین زده می‌شود، بنابراین، چگونگی سطح کربن ورودی، قبل از شبیه‌سازی نیز مود نیاز است نه فقط طول دوره شبیه‌سازی. سطح هوموس ورودی در دوره قبل از شبیه‌سازی با تعریف خطوط دستوری زیر تعیین می‌شود:

```
(OrganicMatter original
        (init (input 1400 [kg C/ha/y])
            (root 480 [kg/ha/y])
            (end -20 [cm])))
```

در اینجا مقدار کربن ورودی به‌عنوان مقدار اولیه مواد آلی برای سیستم تعیین می‌شود. سطر اول Daisy بیانگر این است که کل کربن ورودی سالیانه برابر با ۱۴۰۰ kg/ha، سطر دوم نشانگر این است که از ۱۴۰۰ kg، ۴۸۰ kg ریشه‌های مرده می‌باشد و خط سوم عمق شخم زده شده را ارائه می‌دهد که در اینجا ۲۰ سانتی‌متر است. دلیل نیاز به میزان عمق شخم و عمق ریشه، این است که بدانیم کربن چگونه به‌صورت عمودی توزیع می‌شود. Daisy بیشتر ورودی‌هایی را که به‌صورت اتفاقی در لایه شخم زده شده تولید شده است پیش‌بینی می‌کند، اما بعضی از ریشه‌ها به آن مقداری از عمق که در MaxRootingDepth تعیین گردیده در حرکت رو به پایین خواهند رسید. در ادامه، در بخش ۱-۴-۱ و بخش ۱-۴-۲ در این فصل به‌ترتیب چگونگی تخمین کربن ورودی و نیز چگونگی بهبودبخشی مقداردهی اولیه توضیح داده می‌شود.

۱-۲-۴-۳ آب‌های زیرزمینی

بعد از تعیین اجزای خاک و مواد آلی خاک، باید موقعیت آب‌های زیرزمینی برای Daisy تعریف شود. در این قسمت، آب زیرزمینی بسیار عمیق تعیین شده است، به‌طوری که اثر مستقیمی در شبیه‌سازی ندارد، گزینه‌های دیگر شامل یک سطح ایستابی ثابت (سطح آب زیرزمینی ثابت)، زهکش مزرعه و سطح آب زیرزمینی متغیر است،در یک فایل آورده شده‌اند. به مثال‌های بخش ۱-۴-۴ مراجعه نمایید.

۱-۲-۴-۴ مرحله کاربرد (Using it)

تا این مرحله، یک ستون به نام Andeby ایجاد شده است. حال نیاز است که این ستون خاک برای شبیه‌سازی به Daisy معرفی شود:

```
;;Use it.
(coiumn Andeby)
```

۱-۲-۵ ستون خاک

بعد از تعیین و تعریف پارامتر بسیار پیچیده در Daisy، یعنی ستون خاک، با تشریح ساده‌ترین پارامتر، یعنی زمان.

```
;;Simulation start data.
(time 1986 12 1 1)
```

به‌عنوان کامنت توضیح، زمان شروع شبیه‌سازی بیان می‌شود. چهار عدد مربوط به سال، ماه، روز و ساعت به‌صورت متوالی داده می‌شوند.

۱-۲-۶ مدیریت کشاورزی

حال Daisy نیاز به اطلاعات زمین تحت شبیه‌سازی، آب‌وهوا طی دوره شبیه‌سازی و زمان شروع شبیه‌سازی دارد. از آنجایی که این یک سیستم کشاورزی است، نیاز است در مورد عملیات مدیریت کشاورزی انجام شده در طول دوره شبیه‌سازی، توضیح داده شود.

این مسئله نیاز به شبیه‌سازی شرایط واقعیِ قبل اجرا و یا شبیه‌سازی وضعیت فرضی دارد. تفاوت این دو در این است که در اولین مورد زمان اعمال مدیریت و اینکه مدیر در چه زمانی چه عملیاتی را انجام داده، مشخص است. دومین مورد، مربوط به ساخت چندین مورد اطلاعات در سیستم می‌باشد، بنابراین

فعالیت مدیریتی فرضی بستگی به حالت سیستم دارد؛ برای مثال مدیر تمایل دارد تا یک محصول قبل از برداشت رسیده شود.

در این مثال هر دو مورد ارائه شده است.

```
(manager activity
    (wait (at 1987 4 4 1))
    (plowing)
    (fertilize (mineral
                (weight 100.0 [kg N/ha])
                (NH4_fraction 05 [])))
    (wait (at 1987 4 5 1))
    (prong
      (sow “Grass”)
      (sow “Spring Barely”))
    (wait (or (crop_ds_after "Spring Barely” 2.0)
                (at 1987 9 5 1)))
    (harvest “Spring Barley”)
  (wait (at 1987 9 8 1))
    (fertilize (mineral
                 (weight 80.0 [kg N/ha])
                 (NH4_fraction 0.5 [])))
    (wait (at 1987 10 10 1))
    (harvest “Grass”
                (stub 8.0 [cm])              ; Leave 8 cm stub.
                (stem 1.00 []))              ;Harvest everything above stub.
    (wait (at 1988 4 1 1))
    (stop))
```

در ابتدا، activity (فعالیت) به‌منظور اجرای فعالیت‌های تعیین شده به‌صورت متوالی است. وقتی انجام فعالیتی به اتمام می‌رسد، بعدی شروع می‌شود. نیمی از دستورات در این زمینه مربوط به انتظاری است که باید تعریف شود تا فعالیت خاصی محقق گردد. معمول‌ترین شرایط آن است که ما به نقطه خاص در زمان برسیم؛ برای مثال خط اول،

```
(wait (at 1987 3 20 1))
```

این بدان معنی است، کاربر منتظر می‌ماند تا زمان شبیه‌سازی دقیقاً به ساعت یک بامداد در ۲۰ مارس (ماه سوم میلادی) سال ۱۹۸۷ برسد. فعالیت مشخص wait (منتظر ماندن) تعریف می‌شود تا وقوع در شرایط خاص که با at مشخص شده، حاصل شود.

فعالیت بعدی، powling (شخم زدن) است که یک ساعت بعد اتفاق می‌افتد، بنابراین کشاورز ساعت ۲ بامداد از کار (شخم زدن) فارغ می‌شود. این فعالیت (در شبیه‌سازی) یک ساعت زمان برای آن در نظر گرفته شده است، سپس می‌تواند به فعالیت بعدی بپردازد، که مجدد بار دیگر منتظر می‌ماند.

در این قسمت فعالیت‌های ساده مدیریتی شرح داده خواهد شد، مثال‌های بیشتر از فعالیت‌های مدیریتی را می‌توانید در بخش ۱–۵ مطالعه نمایید.

```
(fertilize (mineral
        (weight 100.0 [kg N/ha])
        (NH4_fraction 0.5 [])))
```

راهکار مرتبط با کوددهی ، نوع کود mineral (معدنی) ، و مقدار نیتروژن آن بر اساس پارامتر weight (وزن) تعیین شده است. نیتروژن می‌تواند به شکل آمونیوم (NH_4^+) یا نیترات (NO_3^-) باشد. تعریف پارامتر NH4-fraction تعیین کننده این است که نصف نیتروژن آمونیوم بوده و باقی آن، نیترات است. در مورد انواع کودها در بخش ۱–۵–۴ بیشتر شرح داده شده است.

```
(progn
  (sow "Grass")
  (sow "Spring Barley"))
```

می دانید که دستور Activity برای انجام لیستی از کارها به‌صورت متوالی است. حال،دستور prong برای تعریف انجام لیستی از فعالیت‌ها به‌صورت موازی (همزمان) است. در اینجا، کاشت گیاه به‌طور همزمان، تعریف می‌گردد. گیاه grass (علف) و گیاه Spring Barley (جو بهاره) که در فایل crop.dai تعریف شده اند، که در بخش ۱–۲–۱ در مورد آن ارائه شده است.

```
(wait (or (crop_ds_after "Spring Barley" 2.0)
        (at 1987 9 5 1)))
```

در این قسمت برای یک شرایط پیچیده‌تر از یک نقطه معیّن در زمان منتظر می‌مانیم. در واقع، در اینجا سه شرایط وجود دارد:

```
(at 1987 9 5 1)
```

که بیان کننده‌ی یک نقطه در زمان است، همان‌طور که قبلاً گفته شد، اما عبارت

```
(crop_ds_after "Spring Barley" 2.0)
```

جدید است. این زمانی محقق می‌شود که مرحله توسعه رشد گیاهی در جوی بهاره به ۲ یا بیشتر برسد. مرحله توسعه رشد گیاهی[1] یا DS یک مفهوم کلیدی برای توصیف حالت رشد گیاهی است. از ۱- در زمان کاشت شروع می‌شود، در طی زمان در مرحله جوانه‌زنی به صفر می‌رسد، در زمان گل‌دهی مقدار آن برابر با یک در نظر گرفته می‌شود و در زمان بلوغ (رسیدن محصول) برابر با ۲ در نظر گرفته شود. بنابراین، شرایط دستوری فوق می‌گوید که فعالیت، زمانی شروع شود که جوی بهاره در مزرعه به مرحله بلوغ (رسیده شدن) برسد.

سومین شرایط با or (یا) نامیده می‌شود.

```
(or (crop_ds_after "Spring Barley" 2.0)
    (at 1987 9 5 1))
```

زمانی به‌کار برده می‌شود که هیچ‌کدام از شرایط تعیین نشده، محقق نشود. به‌عبارت دیگر، این دستور بیانگر این است که وقتی جو بهاره در مزرعه رسیده باشد، یا وقتی که شبیه‌سازی به زمان یک بامداد ۵ سپتامبر (ماه نهم میلادی) سال ۱۹۸۷ برسد.

در واقع، منتظر رسیدن جوی بهاره می‌مانند، اما اگر در زمان تعیین شده (به بلوغ) نرسید، تحت هر شرایطی انتظار متوقف می‌شود

```
(harvest "Spring Barley")
```

و برداشت انجام می‌شود. در زمان برداشت هر چیزی که بالای خاک باشد جمع‌آوری گردیده و تنها ریشه‌ها را به‌منظور پوسیده شدن در خاک رها می‌شود سپس، پس از وجین کردن علف‌ها، انعطاف بیشتری نشان داده می‌شود.

```
(harvest "Grass"
         (stub 8.0 [cm]) ;        Leave 8 cm stub.
         (stem 1.00 [])) ;        Harvest everything above stub.
```

1 Development Stage

در این مرحله ۸ سانتی‌متر از پای گیاه[1] در خاک باقی می‌ماند. تمام بلندی ساقه بالایی گیاه از مزرعه خارج گردید. در واقع پارامتر stem (ساقه) بیانگر کسری از ساقه می‌باشد، که از مزرعه خارج شده است. اگر کسر کوچکی از زمین خارج گردید، باقی‌مانده بر روی سطح خاک به‌عنوان بقایای گیاهی با خاک ترکیب می‌گردد، این ترکیب یا به‌صورت تدریجی، با کمک کرم‌ها و دیگر حشرات درون خاک و یا به‌صورت یکدفعه با عملیات خاک‌ورزی انجام می‌شود.

به احتمال زیاد، برعکس جو بهاره، علف از این وجین محفوظ خواهد بود.

آخرین عملیاتی که تعریف می‌شود، stop (توقف) است، که یک فرمان ساده برای توقف شبیه‌سازی می‌باشد.

۱-۲-۷ خروجی

حال Daisy تمام اطلاعاتی که برای اجرا ی شبیه‌سازی نیاز دارد را می‌داند. فقط نیاز است به Daisy گفته شود که چه اطلاعاتی از شبیه‌سازی را برای فرآیندهای بعدی ذخیره کند.

```
;; Create these log files.
(output harvest
        ("Field nitrogen" (when monthly))
        ("Soil nitrogen" (when daily) (from 0 [m]) (to -1 [m]))
        ("Field water" (when monthly))
        ("Soil water" (when daily) (from 0 [m]) (to -1 [m]))
        ("Crop Production"
          (crop "Spring Barley")
          (where "sbarley.dlf"))
        (checkpoint (when (at 1987 8 7 6))))


;;; test.dai ends here.
```

اولین عنوان وارد شده در لیست، harvest (برداشت) است، یک فایل با عنوان harvest.dlf را تولید می‌کند که شامل اطلاعاتی است که در طی شبیه‌سازی برداشت شده است. فرمت فایل‌های فراخوان شده در Daisy، (.dlf)[2] است که توسط برنامه ShowDaisyOutput.exe قابل خوانده شدن است، می‌توان آن را در spreadsheet و یا یک ویرایشگر مشاهده نمود. منحصراً، بهتر است فایل harvest.dlf، به‌عنوان

1 stub
2 Daisy Log Format

یک متن واضح مشاهده شود. برای اطلاعات بیشتر در زمینه‌ی نحوه‌ی مشاهده نتایج به بخش ۷-۱ مراجعه نمایید.

۱۷ مدل فراخوان شده بعدی، Field nitrogen (نیتروژن مزرعه) است، که اطلاعات لازم در زمینه‌ی محتوای نیتروژن مزرعه، به‌منظور محاسبه بیلان، در فایلی به نام field-nitrogen.dlf نوشته خواهد شد. به‌طور پیش‌فرض، این اطلاعات یک‌بار در روز نوشته می‌شود، اما با تعیین دستور monthly (ماهیانه)، می‌توان آن را به یک‌بار در ماه کاهش داد. Soil nitrogen (نیتروژن خاک) نیز به‌همین صورت است، اما شامل اطلاعاتی برای ساخت بیلان نیتروژن در یک لایه از خاک است، در حالی‌که در نیتروژن مزرعه، بیلان کل مزرعه مدنظر قرار می‌گیرد. هر بار لایه بالایی خاک را به‌عنوان لایه ورودی نیتروژن تعیین می‌گردد. Field water و Soil water نیز به‌همین صورت هستند ، فقط به جای نیتروژن برای بیلان آب می‌باشد که از جهات دیگر شبیه هستند.

به‌صورت هم‌زمان دو گیاه بر روی خاک موجود است. به‌صورت پیش‌فرض، Crop Production (تولید گیاهی)، محتوای هر دو گیاه را با هم اضافه می‌کندو آن را در فایل crop.prod.dlf وارد نماید.

```
(crop "Spring Barley")
```

تنها اطلاعات مربوط به جوی بهاره را فراخوان و با تعیین یک پارامتر where، به مدل گفته می‌شود که در عوض، اطلاعات را در یک فایل با نام sbarley.dlf ذخیره نماید.

باید توجه گردد که نوشتن این فایل‌های فراخوان شده، باعث می‌شود که اجرای شبیه‌سازی بسیار کندتر از حالت عادی انجام شود، هرچه برای Daisy، اطلاعات بیشتری در قالب فایل‌های فراخوان شده در نظر گرفته شود، اجرای شبیه‌سازی کندتر می‌شود.

در نهایت، از Daisy خواسته می‌شود که یک فایل بازرسی[1] در ساعت ۶ بامداد، ۷ آگوست ۱۹۸۷ بسازد. این فایل checkpoint-1987-8-7+6.dai نامیده می‌شود. همان‌طور که از پسوند آن معلوم است این یک فایل فراخوان شده نیست، بلکه یک فایل راه‌اندازی است که، شامل کلیه‌ی اطلاعات در مورد آخرین وضعیت شبیه‌سازی است. در واقع، می‌توان شبیه‌سازی را به جای اینکه با فایل راه‌اندازی اصلی[2] شبیه‌سازی نمود، از فایل‌های تولید شده در این زمینه استفاده گردد. همچنین می‌توان برای دریافت اطلاعات جزئی در مورد وضعیت شبیه‌سازی در نقاط زمانی مورد نظر، آن را با یک ویرایشگر متن، جستجو نمود.

1 checkpoint file
2 Orginal setup file

برای مشاهده اطلاعات بیشتر در زمینه‌ی مدل‌های فراخوان شده به بخش ۱-۶ و برای مشاهده توصیفات بیشتر در زمینه‌ی مدل‌های فراخوان شده‌ی Field water و Field nitrogen به ضمیمه د مراجعه نمایید.

۱-۳- آب‌وهوا

گاهی ممکن است داده‌های آب‌وهوایی کافی وجود نداشته باشد و یا به‌دلیل نبود دسترسی به داده‌ها از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی و یا اینکه در حال اجرای یک شبیه‌سازی پیش‌بینی کننده باشید و داده‌های آن هنوز موجود نباشند. به‌منظور رسیدگی به چنین مواردی Daisy، دو راهکار زیر را برای استفاده از داده‌های در دسترس در اختیار کاربر قرار می‌دهد.

۱-۳-۱ مقیاس‌بندی کردن میزان بارش

میزان بارش بر اساس موقعیت مکانی متفاوت است، بارندگی ممکن است در مناطق با دما و تابش یکسان، بسیار متفاوت باشد. اگر تفاوت کلی از مقادیر ماهیانه‌ی بین منطقه محلی معین و یک منطقه با ایستگاه آب‌وهوایی منطقه‌ای موجود باشد، می‌توان از نسبت بین این دو با دستور PrecipScale (نسبت بارندگی) استفاده نمود.

```
(weather default "weather.dwf"
  (PrecipScale 1.1 1.1 1.1 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2))
```

برای دستور PrecipScale نیاز به ۱۲ عدد می‌باشد، که به‌منظور ضریب بارندگی ماهیانه، به‌ترتیب هر ماه است؛ برای مثال، از داده‌های "weather.dwf" استفاده شده است، اما با افزایش ۱۰ درصدی بارش از ماه ژانویه تا مارس (سه ماه اول میلادی) و افزایش ۲۰ درصدی نه ماه دیگر.

۱-۳-۲ سال‌ها با اطلاعات از دست رفته

فرمان دستوری missing-years این امکان را ایجاد می‌کند که از اطلاعات آب‌وهوایی برای سال‌های مازاد دوباره استفاده گردد؛ برای مثال، اگر داده‌های آب‌وهوایی برای سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۰ را

در فایلی به نام "weather.dwf" موجود باشد، اما درخواست شبیه‌سازی برای سال‌های ۱۹۸۷ الی ۲۰۰۱ باشد، می‌توان مدل آب‌وهوایی را به این صورت تعیین نمود.

```
(weather default "weather.dwf"
        (missing_years ((1987 1990) (1993 1996))
            ((2001 2001) (1991 1991))))
```

این دستورات توسط Daisy به این صورت خوانده می‌شود، برای سال‌های ۱۹۹۸ تا ۱۹۹۰، داده‌های آب‌وهوایی در سال‌های ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۶ و برای سال ۲۰۰۱، داده‌های سال ۱۹۹۱ فراخوان شود.

این دستور، خصوصاً برای اجرای Daisy برای یک دوره 'warming up' (افزایش دمایی) مفید است؛ یعنی زمانی‌که اندازه‌گیری‌های واقعی وجود ندارد و یا درخواست برای شبیه‌سازی‌های فرضی که یک تناوب کشت را همراه با انواع وضعیت آب‌وهوای مختلف باشد.

در مثال بالا دو دوره زمانی (۱۹۹۰–۱۹۸۷ و ۲۰۰۱) را ترسیم گردیده، طبق تمایل می‌توان چندین دوره داشت، بنابراین می‌توان به‌عنوان مثال تنها با داشتن داده‌های اقلیمی صحیح ده ساله، برای یک دور صد ساله شبیه‌سازی را اجرا نمود.

باید توجه داشت که به‌طورمعمول زمانی که داده‌های واقعی در دسترس باشد، Daisy از آن‌ها استفاده می‌کند، بنابراین اگر در مثال بالا همه داده‌ها موجود نبود، و فقط چند داده از سال ۲۰۰۱ موجود باشد، Daisy از آن استفاده می‌کند، یعنی تا زمانی که Daisy بتواند از داده‌های واقعی استفاده کند، آن را با داده‌های ۱۹۹۱ جایگزین نمی‌کند.

۱-۴- ستون خاک

در این بخش مثال‌هایی از بهینه‌سازی‌های متداول مربوط به زیرسیستم‌های مختلفِ ستون خاک ارائه می‌شود.

۱-۴-۱ کربن ورودی

می‌توان برای تخمین کربن ورودی مورد استفاده در Daisy به‌منظور مقداردهی اولیه مواد آلی (به بخش ۱–۲–۳ مراجعه نمایید)، از خود Daisy استفاده نمود، طبق مراحل زیر:

۱– قبل از شروع شبیه‌سازی، تناوب کشت معمول مربوط به دوره‌ی زمانی مدنظر ساخته شود.

۲- از پارامترهای Soil (خاک) و groundwater (آب زیرزمینی) همان‌طور که برای شبیه‌سازی واقعی است، استفاده گردد، اما مقداردهی پارامتر OrganicMatter (مواد آلی) را حذف نمود.

۳-"Carbon Balance" (بیلان کربن) را به خروجی اضافه نمود.

۴- یک شبیه‌سازی با تکرار تناوب کشت، توسط داده‌های هواشناسی در موقعیت مکانی معین، چندین بار اجرا گردد.

حال، فایل daisy.log شامل خطوطی است که مشابه موارد نزدیک به انتها است.

```
      Fertilizer = 0       [kg C/ha/y]
     Residuals = 1454 [kg C/ha/y]
         Roots = 651   [kg C/ha/y]
   Bioinc_CO2 = -727  [kg C/ha/y]
 -------------------------------
   Total C input = 1378 [kg C/ha/y]
                 ====
```

مقادیر مورد نیاز، "Total C input" و "Roots" می‌باشد اولی برای پارامتر input (ورودی) و دومی برای پارامتر root (ریشه) استفاده می‌شود. حال می‌توان بخش مقداردهی OrganicMatter (مواد آلی) را مطابق با بخش اضافه نمود، و دوباره راه‌اندازی اجرا شود. کل کربن ورودی در اجرای دوم باید کمی متفاوت باشد. این اعداد را برای شبیه‌سازی واقعی استفاده نمایید.

۱-۴-۲ قابلیت معدنی شدن[1]

داشتن مقادیر تخمین زده شده از کیفیت مواد آلی، جایگزین ضعیفی، برای اندازه‌گیری آن در Daisy است. با توجه به اینکه اندازه‌گیری آن به‌صورت مستقیم سخت است، می‌توان بر اساس قابلیت معدنی شدن، آن را به‌صورت غیرمستقیم اندازه‌گیری نمود.

قابلیت معدنی شدن در اینجا، اختلاف بین معدنی شدن خالص و مقدار نیتروژن افزوده شده از طریق مرز به‌صورت مواد آلی است. عدد مربوطه می‌تواند منفی یا مثبت باشد، مقدار مثبت به معنی آن است که مقدار نیتروژن پس از معدنی شدن بیشتر از مقدار افزوده شده به سیستم است. این نیتروژن می‌تواند حاصل محتوای هوموس باشد، که از مقدار هوموس کم شده و به سیستم افزوده شده است. به‌طور مشابه، قابلیت معدنی شدن منفی به معنی این است که بعضی از نیتروژن‌های مازاد ذخیره شده و باعث رشد محتوای هوموس شده است.

1 Background mineralization

اگر به فایل daisy.log نگاه کنید، سطری مانند عبارت زیر در همان اوایل می‌یابید

Background mineralization: 4.8127 [kg N/ha/y].

این سطر بیان‌گر این است که Daisy انتظار دارد که هر سال، ۵ kg N/ha از هوموس به دلایل اخیر آزاد گردد. با افزودن پارامتر background-mineralization (قابلیت معدنی شدن) به مقدار مواد آلی اولیه، به Daisy دستور داده می‌شود که سیستم را به روش دیگر مقداردهی کند تا سطح مشخصی از قابلیت معدنی شدن را فراهم نماید.

```
(OrganicMatter (init (input 2400 [kg C/ha/y])
                     (root 800 [kg C/ha/y])
                     (background_mineralization 30 [kg N/ha/y])
                     (end -20.0 [cm])))
```

در دستورات بالا، برای مدل معین می‌شود که با دادن سطوح ورودی، هر سال ۳۰ kg N/ha از هوموس، آزاد شود، اما این اطمینان وجود ندارد که Daisy بتواند این کار را انجام دهد، تعدادی بررسی‌های معقولانه تعبیه شده است که تولید قابلیت معدنی شدن را محدود می‌کند. می‌توان قابلیت معدنی شدن مورد نظر را در ابتدای فایل daisy.log همان‌طور که قبلاً گفته شد بیابید، و قابلیت معدنی شدن واقعی ممکن است به دو دلیل با این مقدار بسیار تفاوت داشته باشد.

۱- سطح واقعی ورودی در دوره شبیه‌سازی می‌تواند با سطح ورودی مورد استفاده برای مقداردهی مواد آلی تفاوت داشته باشد.

۲- قابلیت معدنی شدن مورد نظر با فرض اینکه رطوبت و دمای خاک ثابت است، محاسبه می‌شود، در حالی‌که قابلیت معدنی شدن شبیه‌سازی شده بسته به دما و رطوبت خاک شبیه‌سازی شده، متغیر است.

قابلیت معدنی شدن شبیه‌سازی شده را می‌توان با مشاهده تغییرات محتوای نیتروژن آلی (ستون SOM در "Soil nitrogen" فراخوان شده) پیدا نمود.

اگر میزان نیتروژن حذف شده در هنگام برداشت اندازه‌گیری گردد، می‌توان پارامتر background-mineralization را تنظیم کرده تا نتیجه شبیه‌سازی با خواسته کاربر یکی باشد. با این حال، این تنها روشی است که می‌توان در زمان نامعلوم بودن قابلیت معدنی شدن انجام داد. حتما باید بیلان آب صحیح باشد، در غیر این صورت، مقدار نیتروژن نشت یافته و خارج شده از سیستم نیز نامعلوم خواهد بود. این اطمینان باید حاصل گردد که گیاه در هیچ زمانی از نیتروژن اشباع نمی‌شود. بهتر آن است که یک مزرعه

فاقد کود داشته باشید، اما اگر کوددهی انجام گردد، مقدار آن باید کمتر از قابلیت جذب آن توسط گیاهان باشد.

ممکن است واسنجی کردن میزان قابلیت معدنی شدن از مواد خشک در حین عمل برداشت، نیاز به تکرار متعدد داشته باشد، اما این تنها راهی است که می‌توانید مطمئن شوید که رشد محصول به‌دلیل نیتروژن محدود نمی‌شود.

۳-۴-۱ ویژگی‌های هیدرولیکی

در این بخش به Daisy این امکان داده می‌شود که ویژگی‌های هیدرولیکی را بر اساس بافت خاک حدس بزند. این نوع تخمینِ (غیر واقع‌بینانه)، در بهترین وضعیت غیرقابل اطمینان است و چون ویژگی‌های هیدرولیکی، کلید بیشتر جوانب شبیه‌سازی است، بهتر است تعریف مقادیر صحیح آن‌ها در اولویت باشد. Daisy از تعدادی مدلِ ویژگی‌های هیدرولیکی پشتیبانی می‌کند که مهم‌ترین آن‌ها در اینجا آمده است، جزئیات بیشتر را می‌توانید در مرجع راهنما (Abrahamsen, 1999) مشاهده نمایید.

B-BaC مدل منحنی مشخصه بورکس–کوری با تئوری بوردین
B-C مدل منحنی مشخصه کمپل با تئوری بوردین
B-vG مدل منحنی مشخصه ون–گنوختن با تئوری بوردین
M-BaC مدل منحنی مشخصه بورکس–کوری با تئوری معلم
M-C مدل منحنی مشخصه کمپل با تئوری معلم
M-vG مدل منحنی مشخصه ون–گنوختن با تئوری معلم

در اینجا مثالی است که ما مدل منحنی مشخصه ون–گنوختن با تئوری معلم را انتخاب گردیده است.

```
(defhorizon B ISSS4
  (clay 8.0) (silt 10.5) (coarse_sand 65) (fine_sand 16.5)
  (humus 1.12)
  (hydraulic M_vG
              (K_sat 10 [cm/h])
              (Theta_res 5 [%])
              (Theta_sat 42.4 [%])
              (alpha 0.069 [cm^-1])
              (n 1.527)))
```

سه پارامتر

K-sat هدایت هیدرولیکی اشباع خاک.

Theta-sat نقطه اشباع (نام دیگر: تخلخل خاک).

Theta-res آب باقیمانده در خاک.

در همه مدل‌ها باید ارائه شوند، به غیر از Theta-res که در مدل کمپل باید صفر باشد.
پارامترهای دیگر مدل مشخص شده است.

۱-۴-۴ آب زیرزمینی و زهکش

بدیهی است که همیشه آب زیرزمینی "خیلی پایین‌تر" از منطقه توسعه ریشه نیست که در این مثال به این صورت تعیین می‌شود

```
(defcolumn Andeby default
  (Groundwater deep)
  ;; Other parameters...
```

بنابراین، می‌توان یک سطح آب زیرزمینی ثابت را به این صورت تعریف نمود.

```
(Groundwater fixed -100 [cm])
```

در این قسمت عمق آب زیرزمینی یک متر در نظر گرفته شده است. توجه شود، که وقتی سطح آب زیرزمینی را ثابت در نظر می‌گیریم، این ارتفاع باید بلندتر از پایین‌ترین گره تعریف شده باشد. سومین مورد متداول، زهکش خاک است.

```
(Groundwater pipe)
```

که اغلب برای خاک زهکشی شده، توصیف عبارت فوق کافی است. توضیحات کامل آن را به این صورت می‌توان بیان کرد

```
(Groundwater pipe
            (L 18 [m])
            (x 9 [m])
            (pipe_position -1.1 [m])
            (K_aquitard 1e-4 [cm/h])
```

(Z_aquitard 2 [m])
(h_aquifer 2 [m]))

در آن
L فاصله بین لوله‌ها
x فاصله افقی بین نزدیک‌ترین لوله‌ها. به‌صورت پیش‌فرض وسط بین لوله است (L/2)
pipe-position عمق کارگذاری لوله‌ها درون خاک
K-aquitard هدایت هیدرولیکی لایه محافظ آبخوان
Z-aquitard ضخامت لایه محافظ آبخوان
h-aquitard پتانسیل فشاری در آبخوان در زیر لایه محافظ آبخوان. به‌صورت پیش‌فرض این مقدار برابر با Z-aquitard در نظر گرفته می‌شود.

اعداد بالا مقادیر پیش‌فرض هستند؛ برای مثال اگر مقادیری تعیین نگردد، این مقادیر دریافت خواهد شد. مقادیر L و pipe-position، مقادیر استاندارد برای مزارع دانمارک هستند. Aquitard (لایه محافظ آبخوان) یک لایه‌ی مسدود کننده‌ی آب است که توضیحات آن در (Hansen, 2002) ارائه شده است. پارامتر K-aquitard، پارامتری است که معمولاً نیاز به واسنجی دارد.

نکته: وقتی که خاک زهکش شده تعریف می‌کنیم، تمام گره‌های عددی (نه فقط گره‌هایی مربوط به لوله‌های زهکشی) در جزء نشت زهکش مشارکت خواهند داشت. به این دلیل که فاصله لوله از گره (به‌صورت پارامترهای x یا L معینی) فرض می‌شود و جزء نشست در واقع حرکت افقی شبیه‌سازی شده آب به سمت لوله است.

۱-۴-۴-۱ افق‌های لایه آبخوان

بسیاری از خاک‌ها، سطح آب زیرزمینی درون لایه آبخوان آن‌ها در سال‌های خشک، کاهش می‌یابد. به‌همین دلیل، Daisy به‌صورت خودکار یک افق اضافی در زیر افق پایینی که تعیین می‌گردد، اضافه می‌کند. این امر بر روی ثبت مقادیر مربوطه اثرگذار خواهد بود. درصورتی که مایل به ثبت افق لایه آبخوان نیستید، باید صراحتاً پارامتر to را وارد کنید.

۲-۴-۴-۱ خلل‌وفرج درشت

به‌صورت پیش‌فرض، Daisy تنها جریان آب به سمت ماتریس خاک را محاسبه می‌کند و جریان آب به سمت خلل‌وفرج بزرگ را در نظر نمی‌گیرد. با توجه به اینکه مقدار زیادی از آب از ماتریس عبور می‌کند، این امر معمولاً کافی است. با این حال، در هنگام محاسبه آبشویی نیتروژن و به‌خصوص آفت‌کش‌ها، عبور جریان آب از درون خلل‌وفرج‌های بزرگ حائز اهمیت است، زیرا یک مسیر بسیار سریع به‌سمت آب‌های زیرزمینی ایجاد می‌شود.
تعیین خلل‌وفرج‌های درشت در مثال زیر بیان شده است:

```
(defcolumn Andeby default
  (Movement original
            (Tertiary old
                      (macro default
                      (height_start 0 [cm])
                      (height_end -200 [cm])
                      (distribution (-200 1)
                                    ( -80 0.1)
                                    (0 0))
                     (pressure_initiate -5 [cm])
                     (pressure_end -30 [cm])
                     (pond_max 0.5 [mm]))))
;; Other parameters...
```

در این قسمت تعیین گردید، که خلل‌وفرج‌های بزرگ در سطح خاک شروع و تا عمق دو متری تمام می‌شود که با پارامترهای height-start و height-end مشخص می‌شوند. فرض بر این است که تمام خلل‌وفرج های بزرگ در مقدار height-start شروع و اما نقطه پایانی آن با پارامتر distribution به مکان معینی تعمیم داده می‌شود. در این قسمت، تعیین می‌گردد که تمام خلل‌وفرج‌های بزرگ تا عمق ۲ متری پایان می‌یابد، ۱۰ درصد خلل‌وفرج‌های بزرگ در بالای عمق ۸۰ سانتی‌متری تمام شده و در بالای سطح خاک محدوده‌ای مشخص نمی‌شود از درون‌یابی بین این نقاط استفاده می‌گردد، بنابراین برآورد می‌شود که ۵ درصد از خلل‌وفرج‌های‌بزرگ در عمق بالای ۴۰ سانتی‌متری خاک هستند. کاربر اجباری ندارد که height-start و height-end را به‌صورت دقیق مشخص نماید، اگر مشخص ننماید، اولین و اخرین مقدار نقطه در distribution استفاده خواهد شد.

خلل‌وفرج‌های بزرگ به دو روش متفاوت می‌توانند، فعال باشند. خلل‌وفرج‌های، مانند این مثال، به سطح خاک می‌رسد، که در حالت غرقابی شدن فعال می‌شوند. پارامتر pond-max بیان‌کننده‌ی این است، هنگامی که نیم میلی‌متر آب روی سطح خاک موجود باشد، خلل‌وفرج‌های درشت فعال خواهند شد. لحظه‌ای که فعال شود، خلل‌وفرج‌های درشت، حالت غرقابی را ازبین می‌برند (آب را به دورن خود می‌کِشند و سطح را خالی می‌کنند). روش دیگری که بر اساس آن خلل‌وفرج‌های درشت فعال می‌شوند این است که فشار آب در هر گره درون منطقه حاوی خلل‌وفرج درشت، به مقدار بیشتر از پارامتر pressure-initiate (فشار آغازی) برسد. در این مورد، به‌صورت ناگهانی زهکش انجام می‌شود تا فشار به مقدار پارامتر pressure-end (فشار انتهایی) کاهش یابد.

آب و هر ماده محلول در آن بر اساس پایان خلل‌وفرج‌ها، توزیع می‌شوند؛ برای مثال، اگر خلل‌وفرج‌ها به‌وسیله غرقابی شدن، فعال شوند، ۱۰ درصد از آب غرقاب شده تا عمق ۸۰ سانتی‌متری ماتریس خاک وارد می‌شود و همه آب غرقاب شده تا عمق ۲ متری ماتریس خاک وارد می‌شود.

۱-۴-۵ تبخیر-تعرق

به‌صورت پیش‌فرض، Daisy بهترین مدل را به‌منظور برآورد تبخیر-تعرق مرجع بر اساس داده‌های موجود در فایل آب‌وهوا انتخاب می‌کند. کاربر می‌تواند آن را با استفاده از پارامتر Pet بازنویسی نماید.
کم تقاضاترین مدل از نظر نیازمندی به داده‌های آب‌وهوایی که حداقل داده آب‌وهوایی را برای برآورد نیاز دارد، مدل Makking (ماکینک) است که به این صورت تعیین می‌شود

```
(defcolumn Andeby default
  (Bioclimate default (pet makkink))
  ;; Other parameters...
```

زمانی کاربر به داده‌های تبخیر-تعرق مرجع در فایل آب‌وهوایی دسترسی دارد وخواستار این است که Daisy از آن‌ها استفاده کند، برای این منظور، می تواند pet را به این صورت مشخص نماید.

```
(Bioclimate default (pet weather))
```

انتظار می‌رود، در صورتی که داده‌های آب‌وهوایی تهیه شده باشد و Daisy، تبخیر-تعرق مرجع را در فایل آب‌وهوا پیدا کند، به‌صورت خودکار از آن استفاده نماید.
Daisy هم‌چنین از مدل پیشرفته پنمن-مونتیث نیز پشتیبانی می‌کند.

```
(Bioclimate default (pet PM))
```

اگر اطلاعات واقعی در مورد فشار بخار و باد موجود باشد، استفاده از روش پنمن–مونتیث به‌جای ماکینک در اولویت است. درصورت نبود داده‌های کافی یا وجود داده‌ها با ضریب اطمینان کم، روش ساده ماکینک قدرتمندتر است.

این امکان وجود دارد که استفاده رابطه پنمن–مونتیث بهمراه Shuttleworth-Wallace دقت بالاتری در مدل آب‌وهوایی پشتیبانی شده توسط Daisy داشته باشد. که از این طریق می‌توان آن را فعال نمود

```
(Bioclimate default (pet PM) (svat PMSW))
```

برای مفید بودن آن، نیاز به داده‌های آب وهوا به‌صورت ساعتی است.

۱-۴-۵-۱ تبخیر–تعرق مرجع و پتانسیل

جهت اطلاع از چگونگی محاسبه تبخیر–تعرق پتانسیل بر اساس تبخیر–تعرق مرجع در واقع هم سطح خاک و هم گیاه بر روی آن تأثیرگذار است، اینکه چه سطحی از خاک با گیاه پوشیده شده است. برای تغییر عامل سطح خاک، پارامتر EpFactor را مانند آن تعیین می‌کنیم:

```
(defcolumn Foulum default
  (Surface (EpFactor 1.0))
```

مقدار پیش‌فرض ۰/۸ است.

برای گیاهان جدید به این صورت تعریف می‌شود.

```
(defcrop "Andeby Spring Barley" "Spring Barley"
  "Spring Barley with modified EpFac as measured
in Andeby, 2002, for the SuperGrow(TM) cooperation."
  (Canopy (EpFac 1.2)))
```

مقدار پیش‌فرض EpFac را ۱ می‌گذاریم. به یاد داشته باشید که شما نیاز به کاشت و برداشت Andeby Spring Barley بجای Sring Barley دارید. یا اینکه متناوباً در زمان کاشت، پارامتر بازنویسی شود مانند

```
(sow ("Spring Barley"
      (Canopy (EpFac 1.2))))
```

اگر خواسته شود، پارامتر EpFac، وابسته به مرحله رشد گیاهی باشد، باید آن را به این صورت تعیین نمود

```
(sow ("Spring Barley"
    (Canopy (EpFacDS (0.0 1.0) (1.0 1.2) (2.0 1.0)))))
```

در اینجا EpFac در مرحله جوانه زنی (DS 0.0) برابر با ۱ است، به تدریج در مرحله گلدهی (DS 1.0) به ۱/۲ افزایش می‌یابد و در نهایت در مرحله بلوغ (DS 2.0) به ۱ کاهش می‌یابد.

۱-۴-۶ شبکه‌بندی[1]

در اصل Daisy خاک را به تعدادی لایه‌های مجزا تقسیم می‌کند. در طول شبیه‌سازی، مسیر و محتوای (رطوبت، گرما و نیتروژن) درون هر لایه خاک بررسی و در جریان بین لایه‌ها مشخص می‌گردد. هرچه شبکه‌بندی کوچک تر باشد، نتایج دقیق‌تر می‌شود، اما شبیه‌سازی را کند و همچنین شبکه‌بندی‌های بسیار کوچک ممکن است باعث مشکلاتی در حل عددی شوند. به‌صورت پیش‌فرض احتیاط لازم در نظر گرفته شده است که تعادلی بین این موارد وجود داشته باشد، اما گاهی بهتر است که به‌صورت دستی انتخاب شود. ما یک شبکه‌بندی عددی از خاک را با پارامتر zplus تعیین کردیم.

```
(defcolumn Andeby default
  "Data collected by F.Guf at the B.And farm, Andeby, 2002."
  (Soil (horizons (-20 [cm] Ap) (-2.5 [m] C))
      (MaxRootingDepth 60.0 [cm]))
  (Movement vertical
    (Geometry (zplus -2.5 -5 -10 -15 -20
                     -25 -30 -40 -50 -60 -70
                     -80 -90 -100 -125 -150 -175
                     -200 -225 -250 [cm])))
  (Groundwater deep))
```

مانند آنچه که برای افق‌ها گفته شد، نقاط انتهایی هر لایه (یا گره) عددی را از بالا به پایین فهرست می‌کنیم. [cm] در انتهای اعداد فهرست شده مشاهده می‌گردد که همه اعداد قبلی برحسب cm هستند.

بهترین حالت این است که برای لایه‌های بالایی فواصل کم‌تر (یک یا دو سانتی‌متر) درنظر گرفته شود، چرا که در آنجا فعالیت‌های بیشتری رخ می‌دهد و در نزدیک به کف، گام‌های بزرگ‌تر (چندین سانتی‌متر) تعریف می شود. چراکه در آنجا همه چیز ساکن و آرام است، در انتهای آن به یک سطح آب زیرزمینی ثابت می‌رسد.

1 Discretization

قسمت دشوار موضوع این است که امکان دارد لایه‌های عددی از مرزهای افقی عبور نکند، به این معنی که نقاط انتهایی در افق نیز باید در جایی که zplus فهرست می‌شود، آورده شود.

شبکه‌بندی پیش‌فرض از پارامتر border پیروی و وقتی که zplus را صریحاً تعیین می‌کند، دیگر border اعمال نمی‌شود.

۱-۴-۷ مقداردهی محتویات خاک[1]

به‌صورت پیش‌فرض Daisy محتوای خاک را با مقادیر "معقول" مقداردهی می‌کند، که احتمالاً اشتباه است. بنابراین اگر مقادیر اندازه‌گیری‌های واقعی موجود باشد آن‌ها را می توان جایگزین نمود.

۱-۷-۴-۱ رطوبت خاک

می‌توان یکی از مقادیر رطوبت خاک یا پتانسیل آبِ خاک را مقداردهی نمود، اما هر دو با هم امکان پذیر نیست. هرکدام را که وارد کنید دیگری به‌صورت خودکار از مقداری که شما تهیه کرده‌اید بر اساس ویژگی‌های هیدرولیکی خاک (بخش ۴-۳) به‌دست می‌آید. برای تعیین مقداردهی اولیه میزان رطوبت از این عبارت استفاده می‌کنیم:

```
(defcolumn Andeby default
  (SoilWater (initial_Theta (-100 [cm] 20 [%])
                (-150 [cm] 0.1 [])))
  ;; More parameters...
```

دراین قسمت تعیین گردیده که ۲۰ درصد آب در یک متر اول و ۱۰ درصد آب در ۵۰ سانتی‌متر بعدی وجود داشته باشد. بُعد خالی به‌معنای عدد کسری است. در اینجا خاک به دو لایه تقسیم شده است، اما می‌توان آن را به هر چند لایه‌ای که می‌خواهید تقسیم کنید.

فشار آب خاک به این‌صورت وارد می‌شود.

```
(SoilWater (initial_h ( -50 [cm] -10 [kPa])
                      (-100 [cm] -100 [cm])
                        (-1.5 [m] 2 [pF])))
```

این قسمت ظرفیت زراعی را تعریف و از سه واحد مختلف استفاده گردید.

---

1 Discretization

۱-۴-۷-۲ نیتروژن خاک

سه روش مختلف برای تعیین نیتروژن معدنی در خاک وجود دارد. اولین مورد، نسبت آن در مواد خشک خاک است.

```
(defcolumn JB1_init_hypres JB1_hypres
  (Chemistry multi
            (combine (N (trace (NO3 (initial_Ms (-30 [cm] 10 [ppm])
                                        (-70 [cm] 5 [ppm])))
                       (NH4)))))
   ;; More parameters...
```

در اینجا وزن نیتروژن نیترات را در هر دو سیستم (آب و خاک)، به‌عنوان کسری از وزن خاک خشک تعیین می‌نماییم (به‌عبارتی، از وزن اتم اکسیژن چشم پوشی می‌شود). به این صورت که ابتدا نیترات از نمونه خاک استخراج ، سپس وزن می‌گردد، در جبران اکسیژن، نمونه خاک را خشک کنید، سپس وزن کنید. این روش کسری از نیتروژنِ نیترات خاک را می‌دهد.

روش دوم بر حسب رطوبت خاک است.

```
(defcolumn JB1_init_hypres JB1_hypres
  (Chemistry multi
             (combine (N (trace (NO3)
                                (NH4 (initial_C (-100 [cm] 1 [ppm])))))))
   ;; More parameters...
```

در این قسمت نمونه آب از خاک استخراج و غلظت نیتروژن آمونیوم در نمونه اندازه‌گیری می شود. به کاربر مقدار کل نیتروژن آمونیوم در خاک داده نمی‌شود، بلکه مقداری از آن را که توسط خاک جذب شده است، می‌دهد. با فرض نسبت فاز جذب شده به حل شده و نسبت‌گیری، کسر مورد نظر به‌دست می‌آید.

سومین روش تعیین محتوای کل نسبت به حجم است که شامل هر سه جزء خاک، آب‌وهوا است. مقدار عددی آن مستقل از چگالی ظاهری مواد و مقدار رطوبت است.

```
(defcolumn JB1_init_Cosby JB1_Cosby
  (Chemistry multi
            (combine (N (trace (NO3 (initial_M (-100 [cm] 50 [g/cm^3])))
                               (NH4)))))
```

```
;; More parameters...
```

۱-۴-۷-۳ دمای خاک

هم‌چنین می‌توان دمای اولیه خاک را وارد نمود.

```
(defcolumn Andeby default
  (SoilHeat (initial_T (-100 [cm] 1 [dg C])))
  ;; More parameters...
```

۱-۵- مدیریت

یادداشت مشخصات مدیریتی برای حالت‌های مختلف شبیه‌سازی، که به‌صورت تقریباً هوشمندانه و قوی عمل کند، یک چالش محسوب می‌شود. با این حال، تعیین تک به تکِ هر یک از عملیات مدیریتی کوچک برای یک اجرای ۳۰ ساله می‌تواند هم بسیار خسته کننده باشد و هم باعث ایجاد خطا شود.

بنابراین در این بخش با معرفی راه‌هایی به‌منظور تنظیم مدیریت در "محصول" و "تناوب کشت" شروع می‌نماییم ، بسیاری از کارهارا ذخیره می‌کند. در ادامه، چند مثال از عملیات‌های مختلف مدیریتی معمول ارائه می‌شود.

۱-۵-۱ مدیریت زراعی

اولین بحث مورد نظر، جمع آوری اطلاعات مدیریتی در مورد یک گیاه مشخص است، مانند آنچه که در مثال زیر می‌بینید:

```
;; Spring Barley management.
(defaction sbarley activity
  (wait_mm_dd 3 20)
  (plowing)
  (wait_mm_dd 4 10)
  (fertilize (pig_slurry (weight 100.0 [Mg w.w./ha])))
  (wait_mm_dd 4 15)
  (seed_bed_preparation)
  (sow "Spring Barley")
  (wait_mm_dd 7 1)
```

```
 (wait (or (crop_ds_after "Spring Barley" 2.0 [])
;Ripe
          (mm_dd 10 1)))
(harvest "Spring Barley"))
```

در اینجا یک عملیات مدیریتی (یا اقدام) جدید به نام sbarley تعریف می‌شود که می‌تواند مانند هر عملیات مدیریتی دیگری، مانند شخم زدن به‌کار رود، فقط کمی بیشتر طول می‌کشد. به خصوص که در دوره‌ی خوبی از سال انجام شود.

ما sbarley را به‌عنوان یک activity (فعالیت) تعریف می‌کنیم، ترفند آن این است که به آن یک نام (sbarley) بدهید، و آن را به‌گونه‌ای مشخص کنید که بتوان آن را هر سال استفاده نمایید. کلمه کلیدی به‌منظور استفاده بَعدی از آن این است

```
(wait_mm_dd 3 20)
```

که برعکس (مثال مذکور) است

```
(wait (at 1987 3 20 1))
```

که در آن سال تعیین نمی‌شود[1]. این هر سال با ۲۰ مارس مطابقت دارد و به کاربر این امکان را می‌دهد که هر سال از آن استفاده نماید. بعدتر، هنگامی که منتظر رسیدن محصول هستیم، به‌جای اینکه منتظر صحیح و خطا برای مشخص کردن تاریخ خاصی باشیم مانند مثال، می‌توانیم از شرط mm-dd استفاده کنیم که برای ساعت ۸ صبح اول اکتبر هر سال صدق نماید.

۱-۵-۱-۱- تناوب کشت

اگر اقدامات مربوط به مدیریت زراعی را همان‌طور که در بخش قبل برای جو بهاره، چاودار و علف ذکر شده است، تعریف کرده باشیم، می‌توانیم از آن‌ها در مشخصات مدیریتی همانند عبارت زیر استفاده کنیم

```
(mananger activity
  sbarley sbarley grass rye)
```

---

۱ خواننده محترم توجه نماید که ساعت نیز مشخص نمی‌شود. شما می‌توانید ساعت را مشخص کنید، به (Abrahamsen, 1999) مراجعه نمایید. به‌صورت پیش‌فرض ساعت ۸ صبح است. مسلماً این ساعت برای کشاورز بهتر از ساعت یک بامداد است و استرس کمتری دارد تا اینکه زودتر به مزرعه برود.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، فقط یک‌بار عملیات مدیریتی مرتبط با کشت جو بهاره را مشخص نمودیم، حتی اگر در شبیه‌سازی دو بار جو بهاره را کشت کنیم. می‌توان با نام‌گذاری و استفاده مجدد از تناوب‌های مشخص شده، یک قدم جلوتر باشیم.

```
(defaction rotation_bbgr activity
  sbarley sbarley grass rye)

(manager activity
 rotation_bbgr rotation_bbgr rotation_bbgr rotation_bbgr rotation_bbgr)
```

در اینجا یک تناوب کامل کشت تعریف و نام‌گذاری شد که طی چهار فصل، پنج بار کشت تکرار شده است. در مجموع، طی ۲۰ سال مدیریت در این دو خط مشخص شده است.
در کل به این دلیل است که نوشتن مشخصات مدیریتی به این صورت توصیه می‌شود. مشخصات مدیریتی را برای تک تک گیاهان به‌صورت مجزا تفکیک کنید، سپس در طی عملیات مدیریتی تناوب کشت، آن‌ها را ترکیب نمایید. برای اطمینان از واقع‌گرایانه بودن وضعیت شبیه‌سازی Daisy، بهتر است که حداقل یک تناوب قبل از دوره‌ی شبیه‌سازی مورد نظر خود را، تعریف نمایید.
در بخش‌های بعدی نمونه‌های واضح‌تری از عملیات مدیریتی معمول را ارائه خواهیم کرد.

۱-۵-۲ خاک‌ورزی

عملیات خاک‌ورزی تعریف شده در tillage.dai عبارتند از: plowing (شخم زدن)، rotavation (چرخش)، disk-harrowing (دیسک سخت)، stubble-cultivation (نشا) و seed-bed-preparation (آماده‌سازی بستر بذر). شما از همه آن‌ها مانند دستور شخم زدن در مثال فوق می‌توانید استفاده کنید.
عملیات خاک‌ورزی هر گونه گیاه بر روی خاک را از بین می‌برد، و محتوای بالای خاک (اعم از آب، مواد آلی یا معدنی، آفت‌کش‌ها یا گرما) را همگن می‌کند. علاوه بر این، شخم زدن محتوای بالا و پایین لایه شخم‌زده را زیر و رو می‌کند. محتوای موجود بر سطح خاک به درون خاک برده می‌شود، برای disk-harrowing (دیسک سخت) و و stubble-cultivation (نشا) این ترکیب جزئی خواهد بود.

۱-۵-۲-۱- قابلیت تردد

اگر خاک خیلی مرطوب یا یخ زده باشد، یک کشاورز واقعی ممکن است بخواهد برخی از عملیات‌ها را به تعویق بیندازد. دستور trafficable برای آزمایش این مورد است. می‌توانید از آن مانند مثال زیر استفاده کنید

```
(wait trafficable)
(plowing)
```

اما بهتر است، که یک بازه زمانی برای تعلیق افزوده شود.

```
(wait (or trafficable (mm_dd 04 01)))
(plowing)
```

در اینجا، منتظر قابل تردد شدن خاک یا فرا رسیدن اول آوریل می‌مانیم. این نکته در زمانی‌که ما از آن در توضیحات مربوط به مدیریت زراعی همانند بخش ۱-۵-۱ استفاده کنیم، حائز اهمیت است. تصور کنید که قسمتی از فعالیت مدیریتی زیر را داریم:

```
(wait trafficable)
(plowing)
(wait_mm_dd 4 10)
```

اگر شرایط تا قبل از ۱۰ آوریل قابل تردد نباشد، پس از ۱۰ آوریل شخم زده می‌شود و سپس تا ۱۰ آوریل سال آینده منتظر می‌مانیم. اگر شبیه‌سازی را فقط برای یک دوره‌ی کوتاه اجرا کنیم، ممکن است مشکلی نداشته باشد، سپس می‌توانیم نتایج را کنار بگذاریم و بررسی کنیم که چه چیزی اشتباه بوده است. با این حال، اگر یک دوره ۳۰ ساله را شبیه‌سازی کنیم، اجرای مجدد بسیار آزاردهنده خواهد بود، زیرا ممکن است یک سال، به طور غیرعادی، سرمای زمستانه دیرتر یا بهاری مرطوب داشته باشیم. به‌همین دلیل، برای شبیه‌سازی‌های طولانی، بهتر است که عادت کنید که زمان تعویق در چنین شرایطی را اضافه کنید.

۱-۵-۳ کاشت و برداشت

با گنجاندن فایل crops.dai، به انواع محصولات زیر دسترسی دارید: Fodder Beet (چغندر علوفه)، Grass (علف)، Maize (ذرت)، Pea (نخود فرنگی)، Potato (سیب زمینی)، Rye (چاودار)، Spring Barley (جو بهاره)، Spring Rape (کلزای بهاره)، Sugar Beet (چغندر قند)، Spring Wheat (گندم

بهاره)، Winter Barley (جو زمستانه)، Winter Rape (کلزای زمستانه) و Winter Wheat (گندم زمستانه).

به طور کلی، ایجاد پارامترهای مربوط به هر گیاه جدید، نیازمند آزمایشات مزرعه‌ای است به‌طوری‌که که در آن، محتوای نیتروژن در طول رشد و با اعمال سطوح مختلف کود، به دقت اندازه گیری شده باشد. با این حال، همان‌طور که در بخش ۱-۴-۶ نشان داده شده است، انجام تغییرات کوچک برای اهداف خاص امکان‌پذیر است.

۱-۵-۳-۱- بقایای گیاهی

عموماً زمانی که محصول می‌رسد، برداشت صورت می‌گیرد، به اصلاح گیاه را در حین فرآیند رشد می‌کُشیم. مهم‌ترین تصمیم در این مرحله این است که آیا بقابای گیاهی از روی زمین جمع‌آوری شود و یا به‌عنوان پسماند در زمین رها شود. در اینجا مثالی آورده شده است که بقایای گیاهی جمع‌آوری می‌گردد.

```
(harvest “Spring Barley”
        (Stub 8 [cm]))
```

و در زیر مثالی است که در آن بقایای گیاهی به‌عنوان پسماند رها می‌شوند.

```
(harvest “Spring barley”
        (stub 8 [cm])
        (stem 0.0 [])
        (leaf  0.0 []))
```

در هر دو مورد پای ساقه و ریشه در مزرعه رها می‌شود و اندام‌های ذخیره (که همان دانه‌ها هستند) جمع‌آوری می‌گردد.

۱-۵-۳-۲- وجین چندباره

برخی از گیاهان مانند علف چندین بار وجین می‌شوند. در چنین مواردی، ارتفاع ساقه رها شده بر زمین ضروری است، زیرا میزان سطح برگ رها شده در زمین برای رشد دوباره را تعیین می‌نماید. اگر که هیچ ساقه‌ای در زمین رها نشده باشد (به‌عنوان پیش‌فرض!)، بعید است گیاه دوباره بروید و زمین را پوشش دهد.

نوشتن مشخصات عملیات مدیریتی معمول برای علف بسیار پیچیده‌تر از جو است، زیرا از پیش دفعات وجین مشخص نیست. بنابراین، با تعریف یک فرآیند ساده‌تر به مدل، شروع می‌گردد.

```
(defection cut_grass activity
  (wait (or (crop_ds_after "Grass" 0.7 [])
            (crop_dm_over "Grass" 4000 [kg DM/ha] (height 10.0 [cm]))))
  (cut "Grass" (stub 10.0 [cm])))
```

در اینجا، عملیات cut_grass (وجین علف) تعریف گردیده که در واقع منتظر رشد و بزرگ شدن علف می‌شویم و سپس آن را وجین می‌کنیم.

```
(defection cut_grass_fertilize activity
  (cut_grass)
  (wait_days 1)
  (fertilize (N25S (weight 100.0 [kg N/ha]))))
```

در اینجا، ما عملیات cut_grass (وجین علف) را بر اساس کوددهی بعد از وجین، ادامه می‌دهیم. حال می‌توانیم عملیات مدیریتی علف را تعریف کنیم:

```
(defraction grass activity
   (wait_mm_dd 3 20)
   (wait trafficable)
   (plowing)
   (wait_mm_dd 4 10)
   (fertilize (N25S (weight 100.0 [kg N/ha])))
   (wait_mm_dd 4 15)
   (seed_bed_preparation)
   (sow "Grass")
   (while (wait_mm_dd 9 1)
      (activity
         ;; Max 5 fertilized cuts.
         cut_grass_fertilize cut_grass_fertilize cut_grass_fertilize
         cut_grass_fertilize cut_grass_fertilize
         ;; As many unfertilized cuts aswe want.
         (repeat cut_grass)))
   (while (wait_mm_dd 11 1)
      ;;Additional unfertilized cuts.
      (repeat cut_grass)))
```

همان‌طور که در بخش ۱-۵-۱ مشاهده نمودید، تا وقتی‌که دو دستور while (تا زمانی‌که) اعمال شوند، قسمت ابتدایی آن کاملاً قراردادی است. هر یک از دستورهای while دو فعالیت دیگر را در نظر می‌گیرد، و هر دو را به‌صورت موازی با هم انجام می‌دهد. پایان نیافتن دومین فعالیت اهمیتی ندارد.

در مثال بالا، اولین عمل (در هر دو مورد)، دستور wait_mm_dd (منتظر بمانید تا تاریخ خاص) است. این بدان معنی است که عمل ذکر شده پس از دستور while ادامه خواهد یافت تا به تاریخ مشخصی برسد. در طول زمانی که منتظر می‌مانیم تا تاریخ مورد نظر برسد، آنچه به‌عنوان فعالیت دوم انتخاب شده‌است، اجرا می‌گردد. دستور فوق بدین معنی است که تا اول سپتامبر (ماه نهم میلادی) ممکن است حداکثر پنج بار کوددهی پس از وجین داشته باشیم. ذکر پنج بار متوالی دستور fertilize_after_cut برای این منظور است که امکان دارد کمتر از پنج بار کوددهی پس از وجین انجام شود، ولی درصورتی‌که علف به‌اندازه کافی سریع رشد نماید، دیگر بیشتر از پنج بار اعمال نمی‌شود. پس از پنج بار وجین کود داده شده‌است، فرض این است که هنوز سپتامبر نرسیده و ممکن است باز هم به وجین بدون کوددهی نیاز باشد. دستورالعمل repeat (تکرار) عمل خاص (تعریف شده) را بارها و بارها، تا ابد تکرار می‌کند، بنابراین در اینجا به دستور while نیاز است تا چرخه تکرار شکسته شود.

بعد از آن، چرخه‌ی جدیدی از وجین بدون کوددهی باید تعریف شود، که تا ماه نوامبر (ماه یازدهم میلادی) ادامه داشته باشد. در اینجا ممکن است این سوال مطرح شود که چرا تنها از یک دستور while استفاده نگردید و تا نوامبر (ماه نهم میلادی) انتظار کشیدیم. فرق آن چیست؟ نکته جالب توجه این است که، سوال شما هم باشد. با توضیحات ارائه شده در بالا، نیاز به مدیریتی است، که کوددهی را حداکثر شش بار (با احتساب کوددهی اولیه در دهم آوریل) اعمال نماید، از این‌رو، از نظر سیاست مدیریتی در سطح پایین‌تری از حد دستورات وارد شده در مراحل بالاتر است در واقع فوت و فن کار است، چرا که کوددهی در آگوست (ماه هشتم میلادی) اصلاً اعمال نمی‌شود. به غیر از آن سه مورد کودهی پس از وجین تا قبل از سپتامبر وجود دارد و بعد آن وجین بدون کوددهی داریم. علت این امر این است که، این باور وجود دارد علف به‌اندازه کافی در طی سال رشد نمی‌کند که نیاز به کود اضافی داشته باشیم.

موارد بیشتری در زمینه کوددهی را در بخش بعد مطالعه بفرمایید.

۱-۵-۴ کوددهی

کود از نظر پایه و اساس به دو نوع mineral (معدنی) و organic (آلی) تقسیم‌بندی می‌شوند. این موارد با ذکر مثال‌هایی از چندین نوع کوددهی پیشرفته در دو بخش بعد ذکر خواهد شد.

۱-۵-۴-۱- کود معدنی

در بخش ۱-۶ از کود معدنی به‌صورت زیر استفاده شده است.

```
(fertilize (mineral
        (weight 100.0 [kg N/ha])
        (NH4_fraction 0.5 [])))
```

در صورت استفاده از این کود بهتر است نام‌گذاری گردد. می‌توان آن را به‌صورت زیر تعریف نمود. ما آن را با تعریف زیر ارائه می‌دهیم:

```
(defam SuperGrow mineral
  (NH4_fraction 0.5 []))
```

برای استفاده از آن دستور زیر نوشته می‌شود:

```
(fertilize (SuperGrow (weight 100.0 [kg N/ha])))
```

این دستور تنها شامل یک خط است، اما سازنده SuperGrow تا ابد مدیون آن خواهد بود. فایل fertilize.dai در حال حاضر شامل کودهای معدنی زیر است:

Ammonia Pure NH_4^+.
AmmoniumNitrate A 50-50 mix of NH_4^+ and NO_3^-.
Nitrate Pure NO_3^-.
N25S 50.8% NH_4^+.

۱-۵-۴-۲- کود آلی

در مثال بخش ۱-۵، از کود آلی، اختصاصاً لجن خوک استفاده شده است. تفاوت بدیهی آن این است که وزن آن در سیستم متریک برحسب تُن وزن مرطوب است، به جای آنکه برحسب کیلوگرم نیتروژن باشد. فایل fertilize.dai شامل تعاریف قابل فراخوانی است که بدین شرح است، لجن خوک (با نام pig_slurry)، لجن گاو (cattle_slurry)، کود خوک (pig_manure)، کود گاو (cattle_manure) و کود اسب (horse_manure).

برای سناریوهای صرفاً فرضی، استفاده از کودهای از پیش تعیین شده مناسب هستند، با این حال، اگر که در مورد سیستم تحت شبیه‌سازی بیشتر می‌دانید، این‌که بتوانید توصیف بهتری از کود با لجن اعمال

شده بدهید، حائز اهمیت است، چرا که تفاوت قابل توجهی در شبیه‌سازی ایجاد می‌کند. شما می‌توانید یک لجن را به‌صورت زیر برای مدل تعریف کنید:

```
(defam Andeby_pig_slurry slurry
  "Data collected by F. Guf, 2002 at the B. And farm, Andeby."
  (dry_matter_fraction 0.073)
  (total_C_fraction 0.323)
  (total_N_fraction 0.0863)
  (NH4_fraction 0.7)
  (NO3_fraction 0.0)
  (volatilization 0.15))
```

که در آن،

dry_matter_fraction کسری از ماده خشک از وزن (تر) کل.

total_C_fraction کسر کربن از ماده خشک.

total-N_fraction کسر نیتروژن از ماده خشک.

NH4_fraction کسر آمونیوم از کل N در کود.

NO3_fraction کسر نیترات از کل N در کود، با پیش‌فرض صفر.

volatilization کسری از NH_4^+ که در طی عملیات تبخیر می‌شود.

نیتروژن آلی همان چیزی است که پس از حذف، دو بخش معدنی باقی می‌ماند

این امکان وجود دارد که پارامترهای دیگری مانند سرعت گردش و بهره‌وری برای کود آلی تعیین گردد، اما این نیازمند اطلاعات خاص و منحصر به‌فرد از هر کود، و مدل مواد آلی در Daisy است (به فصل دوم (Hansen, 2002) مراجعه شود).

۱-۵-۴-۳- بهره‌وری سال اول و دوم

دربرخی مواقع برنامه‌ریزی برای اعمال یک کود آلی، بر اساس تخمین میزان بهره‌وری نیتروژن در سال اول و دوم صورت می‌گیرد. در دانمارک، این یک امر اجباری از لحاظ قانون است. هیچ‌کدام از کودهای موجود در فایل fertilize.dai مشمول چنین تخمینی نیستند، چون آن‌ها از دو نظر زمان و قلمرو متفاوت هستند، اما می‌توان آن‌ها را به‌صورت زیر تعیین نمود.

```
(defam "Andeby Pig Slurry" pig_slurry
  (first_year_utilization 0.40)
```

```
(second_year_utilization 0.15))
```

در اینجا تخمین زده شده‌است که ۴۰ درصد نیتروژن (آلی یا معدنی) در اولین سال و ۱۵ درصد در دومین سال به‌کار رفته است. باقی آن احتمالاً تلف گردیده. به این نکته توجه شود این تخمین‌ها مطلقاً اثری بر مقدار واقعی به‌کار رفته در طی شبیه‌سازی ندارد.

برای استفاده از این اطلاعات می‌توان مشخصات مدیریتی را به‌صورت زیرنوشت.

```
(fertilize ("Andeby Pig Slurry")
        (equivalent_weight 100.0 [kg N/ha]))
```

در این صورت به Daisy اجازه داده می‌شود که مقدار وزن تر اعمال شده را، با در نظر گرفتن بهره‌وری ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار برای سال اول محاسبه کند. توجه شود عبارت equivalent_weight خارج از پرانتز اطراف "Andeby Pig slurry" همانند weight (وزن) نیست. پارامتر weight به تنهایی برای کود مناسب نیست، در حالی که equivalent_weight برای عمل کوددهی مناسب است. بنابراین، با هم متفاوت هستند.

برای استفاده از پارامتر second_year_utilization، باید حداقل یک عمل (معمولاً اولین) برداشت در سالِ بعد صورت گرفته باشد که بدین صورت است:

```
(fertilize ("Andeby Pig Slurry")
        (second_year_compensation true)
        (minimum_weight 50.0 [kg N/ha])
        (equivalent_weight 150.0 [kg N/ha]))
```

دستور second_year_compensation به این معنی است که Daisy باید قبل از محاسبه مقدار کوددهی مورد نیاز هر سال، اثر به‌دست آمده از کوددهی سال قبل را با دستور equivalent_weight کم کند. با تعریف دستور minimum_weight (کمترین وزن)، کمترین مقدار کوددهی که نیاز است اعمال می‌شود. به‌همین دلیل اگر که اثر برآورد شده سال دوم kg N/ha ۱۰۰ باشد، کوددهی اصلا اعمال نمی‌شود.

۱-۵-۴-۴- صحت کوددهی

دستور صحت این امکان را به شما می‌دهد که بدانید با توجه به محتوای نیتروژن خاک در منطقه مورد نظر، چه مقدار کود باید اعمال نمایید.

```
(fertilize (N25S)
        (precision 150.0 [kg N/ha] (from 0.0 [cm]) (to -100.0 [cm]))
        (minimum_weight 50.0 [kg N/ha]))
```

Daisy مقدار کوددهی را در منطقه تعیین شده (از سطح خاک تا عمق یک متری آن را، به‌صورت پیش‌فرض) اندازه می‌گیرد و نیتروژن مورد نیاز را تا رسیدن به مقدار مشخص (۱۵۰ kg N/ha) ذخیره می‌کند. در صورتی که کمتر از حداقل مقدار نیتروژن (یعنی ۵۰ kg N/ha) باشد، کوددهی اعمال نمی‌شود.

شما می‌توانید از پارامتر precision (صحت) در کود آلی به این صورت استفاده کنید، در این مورد شما باید پارامتر first_year_utilization را نیز مشخص کنید.

۱-۵-۴-۵- ترکیب کردن

به‌صورت پیش‌فرض، کود ممکن است مستقیماً به سطح خاک اعمال شود. بنابراین، کود آلی هم به‌صورت تدریجی، توسط اجزای زیستی (کرم‌های خاکی و امثال آن) و هم به‌صورت ناگهانی، توسط اجزای مکانیکی به وسیله عملیات شخم با هم ترکیب می‌شود. کود غیرآلی نیز به‌وسیله آب بارندگی یا آبیاری به درون خاک نفوذ می‌کند.

با این حال، اگر کشاورز اداوات لازم را داشته باشد، ترجیح می‌دهد که کود را به‌طور مستقیم با خاک ترکیب کند. این امر معمولاً بهره‌وری را افزایش و شکایت همسایه‌ها از بوی بد لجن خوک را کاهش می‌دهد.

استفاده از دستور from (از) و to (به) در قسمت کوددهی تعیین کننده عمق ترکیب کود است که به شرح زیر می‌باشد:

```
(fertilize (pig_slurry (weight 100.0 [Mg w.w./ha]))
        (from -5 [cm]) (to -20 [cm]))
```

این قسمت، باید توجه داشته باشید، پرانتزهایی که دستور weight (وزن) را به pig_slurry (لجن خوک) متصل می‌کند را بگذارید. برعکس، from و to از ویژگی‌های pig_slurry هستند و نه یکی از عملیات fertilize (کوددهی).

۱-۵-۵ آبیاری

آبیاری می‌تواند به‌صورت سرریز شدن از تاج گیاه (به‌صورت آبیاری بارانی یا به‌صورت مستقیماً در خاک) اعمال شود.

تعریف آبیاری از بالای گیاه، به شرح زیر نوشته می‌شود:

```
(irrigate_overhead 30 [mm/h])
```

مفهوم عبارت بالا این است که آبیاری با شدت ۳۰ mm/hr برای مدت یک ساعت اعمال گردیده، که جمعاً ۳۰ میلی‌متر اعمال می‌شود. آب در ابتدا به تاج گیاه می‌رسد، که قسمتی از آن در همان مکان تا زمانی که تبخیر شود، باقی می‌ماند، قسمتی از آن ممکن است آفت‌کش‌های اعمال شده را از تاج گیاه به سمت پایین بشوید.

برای اعمال همین مقدار آب ولی در مدت زمان ۱۰ ساعت، باید به‌صورت خط زیر دستور را تعریف نمود:

```
(irrigate_overhead 3 [mm/h] (hours 10))
```

برای تعریف آبیاری سطحی بنویسید

```
(irrigate_surface 30 [mm/h] (temperature 10.0 [dg C]))
```

در اینجا هم کل آب اعمال شده همان ۳۰ میلی‌متر است. آب از تاج گیاه عبور و مستقیماً به سطح خاک می‌رسد که ممکن است باعث حالت غرقابی شود تا زمانی که کم‌کم تبخیر شود و یا به درون خاک نفوذ کند.

اگر شما دمای آب را تعیین کنید، مانند irrigate_overhead (آبیاری بارانی)، دمای هوای محیط برای آن در نظر گرفته می‌شود.

دستور نوشتاری برای ترکیب آب به‌صورت مستقیم با خاک هم به‌همین صورت است، که در اینجا مثالی ذکر می‌شود:

```
(irrigate_subsoil 1 [mm/h] (days 1) (hours 6)
                  (from -5.0 [cm]) (to -10.0 [cm])
                  (solute (NH4 1.0 [mg N/l]) (NO3 7.0 [mg N/l])))
```

در این مرحله آبیاری زیرسطحی با شدت ۱ mm/hr و به مدت ۳۰ ساعت تعریف شده است که کل مقدار آب برابر با ۳۰ میلی‌متر است. این آب درون خاک در عمق ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری ترکیب خواهد شد. همچنین، می‌توان یک محتوای غیرآلی در آب را تعیین کنیم که هم می‌توان از بالا و هم از سطح خاک

اعمال نمود. برای آبیاری زیرسطحی نمی‌توان دمای آب را تعیین نمود، که دراین مثال هم تعیین نشده‌است. خود به خود دمای آب هم‌دما با دمای خاک فرض می‌شود.

۱-۵-۵-۱- شرایط

در صورت دانستن زمان دقیق
ابیاری می‌توان تا آن تاریخ منتظر ماند، به این صورت:

```
(wait_mm_dd 07 15)
(irrigate_overhead 30 [mm/h])
```

با این وجود، در زمان نوشتن مدیریت کشاورزی معمول در بخش ۱–۵، ما نمی‌توانیم از این روش استفاده نماییم. امکان دارد طبق پیش‌بینی‌ها بدانیم که به‌طور مثال دو هفته اول جولای (ماه هفتم میلادی) بارندگی باشد، که این امر باعث هدررفت آب آبیاری می‌شود. بر این اساس، Daisy راهی برای سنجش رطوبت خاک دارد.

```
(wait (not (soil_water_pressure_above (height -30.0 [cm])
                                      (potential -1000 [cm]))))
(irrigate_overhead 30 [mm/h])
```

در اینجا، می‌توان بر اساس تانسیومتری که درون مزرعه در عمق ۳۰ سانتی‌متر قرار دارد، آبیاری را تنظیم نمود که وقتی پتانسیل به ۱۰۰۰– سانتی‌متر برسد، آبیاری اعمال شود.
شرایط متناوب به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

```
(wait (not (soil_water_content_above 200.0 [mm]
                                     (from 0 [m]) (to 1 [m]))))
```

در این مرحله انتظار داریم، آب در هر متر از لایه بالای خاک به کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر برسد.

۱-۵-۵-۲- استراتژی

اگرچه، این شرایط کافی نیست، چرا که از قبل دفعات آبیاری یا هر چیز دیگری قابل اعمال نیست. این مشکل همانند مشکل وجین چندباره است که در بخش ۲–۳–۵–۱ گفته شد، و راه‌حل آن به این

صورت است که از دستور "فرآیندهای موازی[1]"، مانند while استفاده کنیم. تصور کنید که حال می‌توانیم به تعاریف مدیریتی بخش ۱-۵-۳-۲ برای گیاهی مانند جو بهاره (sbarley)، یک استراتژی آبیاری مانند این اضافه کنیم.

```
(defaction irrigate_30 activity
  (wait (not (soil_water_pressure_above (height -30.0 [cm])
                                        (potential -1000 [cm]))))
  (irrigate_overhead 30 [mm/h]))

(manager activity
  (while sbarley
    (repeat irrigate_30))
  (stop))
```

در اینجا، یک فعالیت مدیریتی به‌نام irrigate_30 داریم، که شامل دستور انتظار است تا زمانی‌که خاک خشک شود و سپس آبیاری به مقدار ۳۰ میلی‌متر اعمال می‌شود. خصوصیات مدیریتی در این قسمت بیان کننده‌ی این است که تا زمانی که ما عملیات مدیریتی برای کشت جوی بهاره داریم (در طول مدت زمان کشت که برای گیاه جوی بهاره تعریف شده است)، آبیاری هم مکرراً اعمال خواهد شد، بدین‌صورت که هر دفعه پس از خشک شدن خاک، آبیاری اعمال می‌شود.

یکی از مزایای اجرای چنین استراتژی‌هایی مانند آبیاری این است که می‌توان آن را روی هر گیاهی اعمال نمود. بااین‌حال، دو مشکل وجود دارد که باید قبل از وقوع، برطرف شود. ابتدا اینکه فقط در فصل رشد آبیاری تعریف شود، حتی در طول فصل زمستان چنانچه خاک خشک شده باشد. دوم اینکه طبق تعریف، آبیاری ممکن است یک ساعت طول بکشد، اما ممکن است زمانی که میزان رطوبت واقعی توسط تانسیومتر قرائت می‌شود، بیشتر زمان ببرد.

اولین مشکل را با افزودن عبارت "in season" حل نموده و دومین مشکل را با افزودن یک زمان تاخیر بعد از آبیاری برطرف می‌نماییم.

```
(defaction irrigate_30 activity
  (wait (and (after_mm_dd 5 1)
             (before_mm_dd 9 1)
             (not (soil_water_pressure_above (height -30.0 [cm])
                                             (potential -1000 [cm])))))
  (irrigate_overhead 30 [mm/h])
```

1 Parallel processing

```
(wait_days 2))
```

چنان‌چه محدودیتی برای میزان آب قابل استفاده برای آبیاری باشد، می‌توان از بیشترین دوره آبیاری به‌عنوان عامل محدود کننده به‌صورت سطر دستوری زیر استفاده نمود.

```
(manager activity
  (while sbarley
    (activity irrigate_30 irrigate_30 irrigate_30 irrigate_30))
  (stop))
```

در اینجا، تقریباً ۴ بار (دوره) آبیاری تعریف شده است.

۱-۵-۶ آفت‌کش‌ها

آفت‌کش‌ها اثری بر Daisy ندارند (برای مثال گیاهان Daisy مصون از هر چیز، و علف‌های هرزی هستند که در دیگر مدل‌ها روی می‌دهد)، ولی Daisy این امکان را به شما می‌دهد که استفاده از آن را در مزرعه تعریف نمایید. Daisy قادر است مسیر آن را روندیابی نماید. اینکه چطور همراه با آب درون سیستم انتقال می‌یابد، چگونه تجزیه می‌شود، چطور جذب ریشه می‌شود و یا چگونه با آبشویی به سمت آب‌های زیرزمینی رفته و از سیستم خارج می‌گردد.

عبارت دستوری برای تعریف آفت‌کش‌ها بدین شرح است:

```
(spray Bentazon 1000 [g/ha])
```

که در اینجا Bentazon نام یک آفت‌کش است. اخیراً مقادیر پارامتری آفت‌کش‌هایی شامل Atrazine، Bentazon، IPU، MCPP، Pendimethalin در دسترس است.

برای استفاده از آن‌ها، باید عبارت زیر جهت شروع فایل راه‌اندازی آن افزوده شود

```
(input file "chemistry.dai")
```

۱-۵-۶-۱- تعریف آفت‌کش جدید

می‌توان به راحتی با استفاده از تعیین تعداد کمی از پارامترها، آفت‌کش جدیدی را معرفی نمود. پارامترهایی که دستیابی به آن‌ها ممکن است خیلی راحت نباشد، با این حال در اینجا مثالی آورده شده‌است:

```
(defchemical Atrazine default
```

```
"From a FAO sponsored field experiment near Andeby, 2002."
(canopy_dissipation_rate 0.0083 [h^-1])
(canopy_washoff_coefficient 1.0 [])
(crop_uptake_reflection_factor 0.8 [])
(diffusion_coefficient 4.6e-6 [cm^2/s])
(decompose_rate 7e-5 [h^-1])
(diffusion_coefficient 8e-6 [cm^2/s])
(adsorption linear (K_clay 7 [cm^3/g])))
```

همان‌طور که قبلاً هم مشاهده شد، در سطر اول، با دستور defchemical یک ماده شیمیایی با نام جدید Atrazine تعریف شد، ضمن استفاده از کلمه default (پیش‌فرض) و (این تنها) برای مدل شیمیایی در Daisy این‌طور است. در سطر دوم، اطلاعات مربوط به مواد شیمیایی را می‌نویسیم، در این‌صورت بعدها خواهیم دانست که این اعداد از کجا آمده‌اند.

۱-۵-۶-۲- تاج گیاهی

آفت‌کش‌ها با عبارت دستوری spray (ریزش) به سیستم شناسانده می‌شوند. قسمتی از این آفت‌کش‌ها به‌صورت مستقیم بر روی زمین ریخته می‌شوند، قسمت دیگر آن به تاج گیاه برخورد می‌کند، و این مقادیر بستگی به این دارند که چه سطحی از خاک با گیاه پوشانده شده باشد. فرض می‌شود قسمتی از آفت‌کش‌ها که به تاج گیاه برخورد می‌کند همان‌جا می‌ماند تا به‌طور کامل، از بین رود و از سیستم خارج گردد و یا با بارندگی یا آبیاری به سمت سطح خاک شسته می‌شوند.

پارامتر canopy_dissipation_rate نشان‌دهنده‌ی این است که چه کسری از آفت‌کش‌ها در همان تاج گیاهی در هر ساعت از بین می‌روند، ولی پارامتر canopy_washoff_coefficient مقداری از آفت‌کش بر روی تاج گیاهی را که در آب حائل (بارندگی یا آبیاری) حل می‌شوند را ارائه می‌دهد. عدد صفر در این قسمت نشان‌دهنده این است که هیچ مقداری از آفت‌کش در آب حائل حل نمی‌شود و با آب شسته نمی‌شود. اگر عدد یک برای آن تعریف کنید، بدین معنی است که همه مقادیر آفت‌کش روی تاج گیاهی در آب حل می‌شود، و این شامل هر آبی است که از تاج گیاه به پایین ریخته می‌شود.

۱-۵-۶-۳- سطح خاک و جذب توسط ریشه

وقتی آفت‌کش‌ها به سطح خاک می‌رسند، Daisy فرض را بر این می‌گذارد که آفت‌کش‌ها همه به‌صورت ناگهانی در هر آبی که به سطح آب برخورد می‌کند، حل می‌شود و همراه با آب به درون خاک می‌روند. آفت‌کش‌ها در بالای خاک در صورت غرقابی بودن بر روی سطح خاک حرکت می‌کنند. این در زمانی که خلل‌وفرج‌های بزرگ در سطح خاک وجود دارد در حالت غرقابی حائز اهمیت است، چون آفت‌کش‌هایی که در آن موقع وارد خاک شده‌اند می‌توانند بعدتر از طریق خلل‌وفرج‌های درشت خاک انتقال یابند.

آفت‌کش‌ها در خاک می‌توانند به‌صورت سطحی جذب شوند، انتقال یابند، تجزیه شوند و یا با انتقال یافتن به‌سمت ریشه گیاه، توسط ریشه جذب شوند. آخرین مورد با دستور crop_uptake_reflection_factor کنترل می‌شود. در این مثال، ۸۰ درصد آفت‌کش‌ها در آبی که جذب ریشه می‌شوند، حل می‌گردد. ۲۰ درصد باقی‌مانده با جذب خود به خود از سیستم خارج می‌شود.

۱-۵-۶-۴- تجزیه

با پارامتر decompose_rate کسری از آفت‌کش‌ها که در هر ساعت تجزیه می‌شود، تعریف می‌گردد. این نسبت متأثر از تعدادی عوامل مختلف به شرح زیر است:

decompose_heat_factor، decompose_water_factor تجزیه زیستی تسریع شده بر اساس افزایش گرما و رطوبت است. مگر آن‌که به طریقی دیگر تعیین گردد، عوامل مورد استفاده برای معدنی کردن در این مرحله دوباره استفاده می‌شود.

decompose_CO2_factor تولید CO_2 یک شاخص فعالیت زیست‌توده خاک است. با تعیین این پارامتر، تعریف آن به این صورت است که فعالیت بیولوژیک عمومی می‌تواند بر تجزیه تأثیرگذار باشد.

decompose_conc_factor بعضی از آفت‌کش‌ها در غلظت‌های زیاد یا کم به‌سختی تجزیه می‌شوند که می‌توان با این پارامتر آن را مشخص نمود.

decompose_depth_factor برای زمانی است که شدت تجزیه بستگی به میزان عمق خاک دارد.

decompose_lag_increment بعضی از آفت‌کش‌ها برای تجزیه نیازمند ارگانیسم‌های خاصی می‌باشند که برای ظاهر شدن آن‌ها به زمان نیاز دارند. بنابراین Daisy متغیر تأخیر زمانی را برای هر آفت‌کش که عدد صفر برای آن در نظر گرفته شده است، را پیگیری می‌کند. زمانی که این متغیر به عدد یک رسید، تجزیه شروع می‌شود. می‌توان این پارامتر را طوری تعیین نمود که به‌صورت ساعتی، به‌عنوان

کسری از غلظت در خاک افزایش یابد. به‌صورت پیش‌فرض، افزایش این مقدار به عدد یک، بدین معنی است که تجزیه به‌صورت ناگهانی شروع شده است، بدون آن‌که زمان تأخیری برای آن در نظر گرفته شده‌باشد.

برای اطلاعات بیشتر در مورد هر یک از این عوامل به مرجع (Abrahamsen, 1999) مراجعه کنید.

۱-۵-۶-۵- انتقال

آفت‌کش‌ها در خاک از طریق همرفتی و پخشیدگی انتقال می‌یابند. دستور deffusion_coefficient برای تعیین کردن مورد دوم است. در نهایت، انتقال به درون خاک ممکن است با جذب از طریق خاک همراه باشد. Daisy شامل تعدادی از مدل‌های پیشرفته برای تعیین میزان جذب است، اما برای آفت‌کش‌ها معمولاً استفاده از نبود قابلیت جذب کافی می‌باشد (دستور adsorbtion none)، یا از همبستگی خطی ساده بین مواد جذب شده و حل شده استفاده نمود، $A=k\rho C$، که در آن، A مقدار ماده جذب شده، K یک آفت‌کش و پارامتر خاص خاک است، ρ چگالی ظاهری خاک و C مقدار ماده حل شده است. در Daisy، K به دو پارامتر K_clay و K_OC تقسیم‌بندی می‌شود. K_clay در کسر مربوط رس خاک و K_OC در کسر مربوط به هوموس خاک ضرب می‌شود.

۱-۵-۶-۶- مدل‌های ورودی آفت‌کش‌ها

در این مرحله چندین مدل ورودی وجود دارد که در زمان استفاده از آفت‌کش‌ها ، مفید واقع می‌شوند.

Field chemical اطلاعات کافی برای ساخت یک بیلان از مواد شیمیایی را در کل مزرعه می‌دهد که ممکن است در سطح خاک و در خلل‌وفرج‌های زیستی موجود باشند. فایل: field_chemicals.dlf.

Soil chemical اطلاعات کافی برای ایجاد یک بیلان برای فاصله خاصی از خاک مورد نظر را به ما می‌دهد که تنها شامل مواردی است که در ماتریس خاک وجود دارد، اما در خلل‌وفرج‌های زیستی یا سطح خاک نیستند. فایل: soil_chemicals.dlf.

پارامتر chemical به Daisy اطلاعات نوع آفت‌کش ورودی می‌دهد، به این صورت:

("Soil chemical" (chemical Atrazine))

در این قسمت تعیین گردیده،که نام فایل پیش‌فرض تغییر یابد، بنابراین برای مثال به جای فایل field_chemicals.dlf، فایل field_Atrazine.dlf را دریافت خواهد کرد.

۱-۶- فایل‌های ورودی

در بخش اول چندین مدل ورودی مفید ارائه شده که در قسمت‌های دیگر عنوان نشده است، اما ابتدا بهتر است پارامترهای مفید معمول در این زمینه را یادآوری کنیم. دو پارامتر زیر تقریباً در همه مدل‌های ورودی استفاده می‌شوند:

When: اغلب نشان دهنده‌ی این است که چطور ورود کنیم. در یک مثال تئوری، شما می‌توانید هر شرایطی را استفاده نمایید؛ برای مثال crop_dm_over، اما در عمل، شرایط hourly (ساعتی)، daily (روزانه)، weekly (هفتگی)، monthly (ماهیانه) و yearly (سالیانه) از متداول‌ترین آن‌ها هستند. مدل‌های ورودی به‌صورت خودکار مقدار جریان را بین گام‌های زمانی محاسبه می‌کنند. زمانی که مقدار مشخص نباشد، مدل‌های ورودی هر یک ساعت وارد می‌شوند.

Where: مکانی که در آن نتایج ارائه می‌شوند را انتخاب می‌کنید.

همان‌طور که در بخش ۱-۲-۴ توضیح داده شد، خاک به چند لایه برای انجام محاسبات تقسیم می‌شود.برخی از مدل‌های ورودی از جمله Soil Temperature (دمای خاک) مقادیر را به‌صورت تک متغیر ثابت، برای هر یک از این لایه‌ها ارائه خواهد نمود. دیگر مدل‌های ورودی، مقادیر را به‌صورت چندین متغیر ثابت و ارائه کامل مقادیر متغیر برای هر یک از لایه‌ها در فواصل مختلف، تعیین نموده و یا برای متغیرهای جریان، از مقادیر بالا و پایین فواصل خاک استفاده می‌کند. Soil nitrogen (نیتروژن خاک) مثالی از یک چنین مدل ورودی است. شما می‌توانید این فواصل لایه‌ها را با پارامترهای from (از) و to (به) کنترل کنید.

از موارد فوق در مثال زیر استفاده شده است.

```
(output ("Soil nitrogen" (when monthly)
          (where "nitrogen-balance.dlf")
                    (from 0 [m]) (to -1 [m])))
```

۱-۶-۱ فعال‌سازی خروجی

از آنجا که نوشتن و فراخوان هر از یک فایل‌های ورودی باعث کند شدن اجرای یک شبیه‌سازی می‌شود، در نتیجه با فراخوان چندین فایل ورودی، اجرای مدل خیلی کند می‌شود. به‌عنوان یک قانون عمومی، بستگی به فایل فراخوان دارد، فایل‌های فراخوان شده‌ی بزرگ زمان بیشتری را نسبت به فایل‌های فراخوان شده‌ی کوچک صرف می‌کنند. بنابراین، بهتر است که مقادیر خروجی را به‌صورت ساعتی، تحت شرایط روزانه و یا حتی به‌صورت روزانه تحت شرایط ماهیانه از مدل خواسته نشود، اما تنها مدل فراخوان شده harvest (برداشت) تقریباً آزاد است. پس اگر به‌عنوان کاربر آزاد (و بدون هدف خاص) از Daisy استفاده می‌کنید، یک مدل را فقط به‌دلیل اینکه شاید اطلاعاتش را نیاز داشته باشید فراخوان نکنید. اگر بعداً متوجه شدید به اطلاعات آن فایل فراخوان نیاز دارید می‌توانید دوباره شبیه‌سازی را تنها با مشخص کردن آن فایل خاص اجرا کنید.

می‌توان در مکان وجود فایل فراخوان ، همچنین برای افزایش سرعت شبیه‌سازی و جلوگیری از داده‌های پرت دوره را محدود نمود. مخصوصاً این کار در زمینه پیوستگی ضمن دوره‌های افزایش دما مفید است. این عمل را می‌توان با نوشتن activate_output در سطوح بالاتر کار با مدل، به‌صورت زیر مشخص نمود:

```
(activate_output (after 1997 3 31 23))
```

این دستور، فایل‌های فراخوان شده از اول آوریل ۱۹۹۷ تا پایان شبیه‌سازی را فعال می‌کند که برای تمام فایل‌های مدیریتی قابل اجرا است، هم‌چنین می‌توان بازه زمانی را به‌صورت محدوده تعریف نمود که می‌توان به این صورت نوشت

```
(activate_output (and (after 1997 3 31 23)
                      (before 1998 4 1 0)))
```

این دستور، فایل‌های اطلاعاتی را از تاریخ ارائه شده در سال آبی ۱۹۹۷ به شما می‌دهد.

۱-۷- رسم نتایج شبیه‌سازی

فایل dlf. تولید شده توسط Daisy به‌صورت یک فایل متنی است (به‌صورت پیش‌فرض) با ستون‌های جدا از هم، که قابل مشاهده با هر ویرایشگر فایل متنی و بیشتر Spreadsheetها است. همچنین، برنامه

خاصی با عنوان ShowDasiyOutput، برای نمایش نتایج وجود دارد، و Daisy امکانات خاصی برای پوشش دادن فایل‌ها با پسوند dlf. (و همچنین فایل‌های مرتبط با آب‌وهوا (dwf.)، فایل‌های اطلاعاتی (ddf.) با اندازه‌گیری‌های موجود در آن‌ها)، به‌همراه دستوراتی در برنامه رسم عمومی gunplot دارد.

۱-۷-۱ صفحات گسترده (Spreadsheets)

توجه داشته باشید که Daisy از قالب اعداد US استفاده می‌کند، که از نقطه در اعداد اعشاری به‌جای ممیز اعشار استفاده می‌شود. اگر اعداد در صفحات متنی عجیب به نظر آمد، بررسی گردد که در ویرایشگر متنی مانند notpad چگونه است. در صورت وجود اعداد متفاوت ممکن است نیاز باشد فایل نصب برنامه را به‌منظور پذیرش قالب آمریکایی تغییر دهید. در سیستم‌عامل ویندوز، شما قالب اعداد را می‌توانید از این طریق تغییر دهید (Start → Control panel → International).

در Excel، با کشیدن فایل‌های مربوط به Daisy به درون Shortcut Excel، یا باز کردن یک فایل با پسوند dlf. (با راست کلیک و انتخاب گزینه "Open with") در Excel می‌توان آن را باز نمایید.

۲-۷-۱ نمایش خروجی مدل (ShowDaisyOutput)

برنامه ShowDaisyOutput در صفحه اصلی Daisy قابل دسترس می‌باشد. این نرم‌افزار فقط تحت سیستم‌عامل ویندوز عمل می‌کند و برای مرور سریع نتایج، بسیار کاربردی است. می‌توان فایل‌های dlf. به آیکون ShowDaisyOutput انتقال داد، برنامه، اولین ستون (بدون–زمان)[1] را نمایش می‌دهد. سپس گزینه‌ای در منو برای مشاهده دیگر ستون‌ها خواهید داشت، یا در بعضی از نسخه‌ها قابلیت بزرگ–نمایی در تاریخ خاصی را با کشیدن موؤس بر روی نقشه منطقه محدود و مشاهده آن را دارید. برای فایل crp-prod.dlf، نرم‌افزار ShowDaisyOutput قابلیت نمایش تمام DM[2] را به‌صورت کامل و یکجا دارد.

برای بسیاری از فایل‌های فراخوان شده، ShowDaisyOutput قابلیت نمایش داده‌های مربوط به پروفیل خاک با نمایش عمق در محور y و نمایش مقادیر در محور x وجود دارد. سپس می‌توان تغییرات آن را نسبت به زمان مشاهده نمود.

1 none-time
2 Dry Matter ماده خشک

برنامه ShowDaisyOutput قابلیت چاپ ندارد، ولی می‌توان از گزینه‌های دیگر برای آن استفاده نمود.

۱-۷-۳ ایجاد دستورات gunplot از Daisy

برنامه gunplot که درون Daisy ساخته می‌شود، این امکان را به کاربر می‌دهد که یک فایل دستوری (با نام daisy.gunplot) برای ابزار gunplot مازاد (یا wgunplot.exe)، به‌منظور ساخت طرح در encapsulated postscript با پسوند (*.eps)، در برنامه Acrobat reader PDF (*.pdf)، به فرمت LaTeX (*.tex) بسازد و یا به‌صورت مستقیم در ویندوز نشان داده شود. داده‌های رسم شده را می‌توان از طریق فایل‌های فراخوان شده (*.dlf)، فایل آب‌وهوا Daisy (*.dwf)، یا فایل اطلاعاتی Daisy (*.ddf) خواند.

صفحه اصلی gunplot را می‌توانید با آدرس http://www.gunplot.info/ بیابید که درآنجا نسخه‌هایی از برنامه با پلتفرم‌های[1] بیشتر موجود است جهت این منظور به نسخه ۴.۰ نیاز است.

۱-۷-۴ مثال ساده

```
(defgnuplot test time
  (source (column (file "harvest.dlf") (tag "leaf_DM"))
          (column (file "harvest.dlf") (tag "sorg_DM"))
          (column (file "crop_prod.dlf") (tag "Leaf AI"))))

(defprogram "Andeby Graphs" gnuplot
  (graph test))

(run "Andeby Graphs" )
```

این روش ساخت یک فایل daisy.gunplot است که پنجره‌ای با یک طرح[2] از محصولات اندام‌ذخیره و برگ را از فایل harvest.dlf، و LAI را از فایل crop-prod.dlf می‌دهد.

1 platforms
2 plot

۵-۷-۱ مثال پیچیده

```
(defgnuplot another_test time
      "Test of 'gnuplot' program."
      (ymin -1) (ymax 6) (y2min 0) (y2max 10)
      (begin 1986 9 1 0) (end 1987 11 1 0)
      (title "gnuplot demonstration")
      (size 1.0 0.5)
      (extra "set xtics rotate")
      (legend se)
      (source (column (file "harvest.dlf")
                      (tag "leaf_DM")
                      (title "Leaf Harvest")
                      (with points)
                      (dimension "Mg DM/ha"))
              (column (file "harvest.dlf")
                      (tag "sorg_DM")
                      (title "Grain Harvest")
                      (with points)
                      (dimension "Mg DM/ha"))
              (column (file "crop_prod.dlf")
                      (filter ("day_length" "10" "8")
                      ("month" "9" "10"))
                      (style 1)
                      (tag "WLeaf"))
              (column (file "crop_prod.dlf")
                      (style 2)
                      (tag "WSOrg"))
              (column (file "crop_prod.dlf")
                      (tag "Leaf AI"))))

   (defprogram "Andeby Graphs" gnuplot
      (command_file "kurt.gnuplot")
      (graph (another_test)
             (test (where "test.eps"))
             (another_test (where "another-test.eps"))))

   (run "Andeby Graphs")
```

این مثال یک نمودار gunplot را با نام "another test" تعریف می‌نماید.

- در این نمودار برای هر دو محور x و y (ymin, ymax, y2min, y2max) ، به‌جای آن‌که به gunplot اجازه دهیم که خودش محدوده را به‌صورت دستی انتخاب کند ، در شروع و پایان محدوده انتخاب می‌شود.
- برای نمودار یک عنوان انتخاب می‌شود، "".
- ما یک نمودار با عرض پیش‌فرض و ارتفاع نصف مقدار پیش‌فرض می‌خواهیم.
- دستور تفسیر نشده gunplot همراه با کلمه کلیدی 'extra' آمده است. این مورد، به‌منظور چرخش ۹۰ درجه‌ای عناوین مربوط به محور x است. شما همچنین می‌توانید سایز و فونت را برای یک طرح تک رنگ، و یا چند رنگ تعریف نمایید.
- در اینجا جایگاه راهنمای علائم[1] نمودار در قسمت جنوب شرقی آن تعریف شده است، به‌جای آنکه Daisy آن را در گوشه‌ای دور از داده‌ها قرار دهد.
- نام‌ها و عناوین مختلفی برای بُعدهای مربوط به داده‌های 'harvest.dlf' انتخاب شد و طرح آن به‌صورت نقاط درون خط انتخاب شده است. به‌صورت پیش‌فرض Daisy نقاط را از فایل '*.ddf' و خطوط را از فایل‌های '*.dlf' و '*.dwf' انتخاب می‌کند.
- تنها داده‌های مربوط به WLeaf از 'crop-prod.dlf' گرفته می‌شود که در دوره‌های ۸ الی ۱۰ روزه، از ماه سپتامبر تا اکتبر است.
- ما ازشیوه[2] داده شده اول و دوم برای رسم WLeaf و WSOrg استفاده می‌کنیم، به‌جای آن‌که به Daisy اجازه دهیم که شیوه در دسترس بعدی را انتخاب کند. بدین معنی که آن‌ها شیوه رسم یکسانی با داده‌های مربوط به 'harvest.dlf' دارند، جز آنکه به‌جای اینکه نمودارها نقطه‌ای باشند، نمودارها خطی هستند.

به‌منظور طراحی واقعی گراف‌هایی که تعریف می‌شوند، نیاز به یک برنامه خاص با نام " Andeby Graphs" است. این برنامه، دستورات را در فایل "kurt.gunplot" برای طراحی سه نمودار ایجاد می‌کند. ابتدا، نموداری است که ما آن را "another-test" نام نهادیم، بدون فایل خروجی مشخص، یعنی تنها نمودار بر روی صفحه نمایش داده می‌شود. سپس برنامه دستورات مربوط به رسم نمودار آزمایشی اصلی را در فایلی با عنوان "test.eps" ایجاد می‌نماید، و سپس نمودار جدیدی در فایل "another-test.eps" ایجاد می‌گردد.

1 legend
2 Style

۱-۷-۶ مدل منبع "محاسباتی"

منبع محاسباتی مدل این امکان را فراهم می‌کند تا محاسبات ساده با ستونی در فایل مجزا ارائه شود.

```
(defgnuplot crop time
  "Plot crop dry matter partitions."
  (source (arithmetic (file "crop_prod.dlf")
                      (expr WSOrg))
          (arithmetic (file "crop_prod.dlf")
                      (expr WRoot))
          (arithmetic (file "crop_prod.dlf")
                      (title "WShoot")
          (expr (+ WStem WLeaf WDead)))))
```

در اینجا، اندام‌های ذخیره و ریشه‌ها را طی روند معمول، طراحی می‌کنیم، اما برای افزودن انباشت ساقه‌ها، برگ‌ها و برگ‌های مرده در یک نمودار واحد، "Wshoot" را تعریف می‌کنیم. معمولاً زمانی از این عبارات استفاده می‌شوند که بخواهید عنوان راهنمای نقشه را صریحاً عنوان نمایید، در غیر این صورت می‌توانید آن را به‌صورت "+" بنامید.

همیشه فرمت علائم ریاضی به‌صورت پیشوند بیان می‌شوند، نام پردازنده همیشه بعد از عملکرد می‌آید. Daisy خود توابع زیر را می‌داند: +، −، *، min، max، pow، exp، sqrt، sqr، ln، و log10.

اعداد به‌صورت (const val dim) (یعنی به ترتیب دستور const، مقدار عددی و بُعد) بیان می‌شوند، مانند:

```
(expr (+ WSOrg (const 1.0 [Mg DM/ha])))
```

در صورت نیاز به ارائه وضعیت محصول، می‌توان بُعدها را به این‌صورت تبدیل نمود (convert expr dim)، مانند:

```
(expr (convert WSOrg [g DM/m^2]))
```

Daisy عموماً قادر به محاسبه بُعد نتایج حاصل از عبارات ریاضی ، به‌جز در موارد ساده (مانند +)نمی‌باشد. می‌توان بُعد را برای Daisy با عبارت (dim expr dim) تعریف نمود، مانند:

```
(expr (dim (* WSOrg (const 2.0 [])) [Mg DM/ha]))
```

تفاوت آن با 'convert' این است که dim مقادیر را تغییر نمی‌دهد و فقط بُعد را تغییر می‌دهد.

۱-۷-۷ فایل‌های اطلاعاتی Daisy (*.ddf)

فایل‌های '*.ddf' برای داده‌های اندازه‌گیری شده در نظر گرفته شده است. داده‌ها به‌صورت یک طرح پیش‌فرض مانند نقاط هستند و با یک شیوه یکسانی از منابع اطلاعاتی در فایل‌های '*dlf' و '*dwf' مرتب شوند. این ایده برای مقایسه اعداد اندازه‌گیری با اعداد شبیه‌سازی کاربرد دارد.

فرمت آن به‌صورت زیر است:

```
ddf-0.0 You can insert a description after the seven first letters.
# Here you can add comments, here.
# As long as they begin with a '#'.
# After a line of hyphens, tab separated data should be listed. # The two first
lines are tags and dimensions, like for '*.dlf' files.
------
Date        Height
                cm
2005-09-24T01    20
2005-09-24T07    21
```

می‌توان ستون‌های سال/ ماه/ روز/ ساعت را همانند فایل‌های dlf و dwf، از هم جدا نموده و یا می‌توان در یک ستوان واحد با فرمت 'yyyy-mm-ddThh' نوشت (که همان فرمت استاندارد ISO است).

اگر یک خط بُعد نداشته باشید، باید بُعدها را با کلمات کلیدی اصلی برای هر منبع تعریف کنید.

۱-۸- مدیریت کردن مقادیر پارامتری

چنان‌چه شما طبق توصیه‌های گام‌به‌گام این فصل پیش بروید، تعداد زیادی پارامتر از جمله مواردی مانند، افق خاک، ستون خاک، انواع کودها، و انواع راهکارهای مدیریتی خواهید داشت. در بسیاری از موارد، بیشتر این مقادیر پارامتری مفید هستند؛ یعنی، در بیشتر شبیه‌سازی‌ها مفید واقع می‌شوند. توصیه می‌شود که در گام اول، یک library (کتابخانه‌ای) از مقادیر پارامتری موجود ساخته شود. این library می‌تواند از آنچه که Daisy به‌عنوان اطلاعات پایه‌ای در library موجود در مدل در اختیارتان قرار می‌دهد، متفاوت باشد، و فایل‌های مربوط به شبیه‌سازی اخیر خود را در آن نگهداری کنید. در واقع، منظور این است که فایل‌ها را در سه یا چند مسیر مختلف نگهداری نمایید.

- مسیرهای lib و sample از طریق فایل نصب Daisy توزیع شده است. شما هرگز نباید این فایل‌ها را تغییر دهید، و هرگز فایلی را برای خودتان اضافه نکنید. در صورتی که می‌خواهید چیزی به آن قسمت اضافه کنید، آن را به آدرس <daisy@dina.kvl.dk> بفرستید، و اجازه دهید که ما آن را برایتان انجام دهیم. مزیت این روش، آن است که وقتی نسخه جدید یا ارتقاء یافته‌ای با ویژگی‌های جدید ایجاد می‌شود، و باگ‌های جدید و به‌روزی می‌رسد، برای شما هم راحت‌تر خواهد بود که نصب Daisy خود را ارتقاء دهید. این فایل‌ها ارتباط تنگاتنگی با نسخه‌ای از Daisy که شما با آن سر و کار دارید، دارد.
- فهرست راهنما شامل فایل‌هایی با مقادیر پارامتری است که تنها برای یک شبیه‌سازی خاص تعیین نشده است. در این فهرست راهنما، شما می‌توانید مقادیر پارامتری را بسته به سلیقه، بر اساس موقعیت (برای مثال تمام خصوصیات پارامتری افق و ستون خاک شامل داده‌های اندازه‌گیری شده در Andeby در فایل واحد andeby.dai بگذارید) و یا نوع (برای مثال تمام خصوصیات مدیریتی محصول را در یک فایل با نام crop-man.dai بگذارید) و یا هر دو، مدیریت کنید.
- فهرست راهنما، برای هر شبیه‌سازی، شامل یک فایل راه‌اندازی، فایل‌های مربوط به پارامترهای خاص شبیه‌سازی و یا دیگر داده‌ها، و تمام فایل‌های خروجی (با فرمت dlf.) تولید شده به‌همراه اجرای شبیه‌سازی است.

بر اساس تجربه، به‌عنوان مدیریت، زمان را در اجراهای طولانی ذخیره کنید.

۱-۸-۱-کپی نکنید، تعریف کنید.

یک تذکر مهم در مورد مقادیر پارامتری منحصر به خودتان: کپی ننموده، تعریف نمایید؛ برای مثال، اگر شما علفی با اندکی تفاوت از آنچه در مقادیر پارامتری کتابچه استاندارد Daisy موجود است، دارید، فقط دستورات را از grass.dai کپی نکنید و سپس تغییرات مورد نظر خود را اعمال کنید. دقت کنید که مستقیماً فایل grass.dai را تغییر ندهید. به جای آن، یک مقادیر پارامتری تعریف شده را همان‌طور که در بخش ۴-۶ گفته شد، بسازید:

```
(defcrop "Andeby Spring Barley" "Spring Barley"
  "Spring Barley with modified EpFac as measured
```

```
in Andeby, 2002, for the SuperGrow(TM)
cooperation."
   (Canopy (EpFac 1.2)))
```

دو مزیت این روش ابتدا، اگر شما مقادیر پارامتری موجود در grass.dai را ارتقاء دهید، در هنگام نصب نسخه به‌روز شده Daisy، شما به‌صورت خود به خود، نسخه جدید تعریف شده را در حالت ارتقایافته دریافت می‌کنید. به‌علاوه، ممکن است که تغییراتی در مدل گیاهی پیش‌فرض ایجاد شود که نیازمند تغییرات مرتبط با مقادیر پارامترها باشد. البته، این کار برای پارامترهای استاندارد شده موجود انجام شده‌است. اما اگر شما یک کپی از مقادیر پارامتری داشته باشید، در زمان نصب نسخه جدید از بین می‌رود.

۱-۸-۲-مسیر Daisy

در حال حاضر، اگر که شما به توصیه‌های گفته شده عمل کرده باشید و مسیر فایل‌های خود را در سه مسیر تعیین کنید، باید به Daisy دستور داده شود که چگونه آن‌ها را پیدا نماید. Daisy از دو منبع برای پیدا کردن فایل‌ها استفاده می‌کند:

- مسیری[1] که شامل اطلاعات مربوط به آنچه که فهرست راهنما ارائه می‌دهد، و
- فهرست راهنمای اخیری[2] که در آن فایل‌های اطلاعاتی قرار خواهند گرفت، اگر "." در مسیر تعریف شده باشد، Daisy آن را به‌عنوان فایل اطلاعاتی در نظر می‌گیرد.

به‌صورت پیش‌فرض، Daisy فایل‌ها را در مسیر اخیر جستجو می‌کند، همچنین در فهرست راهنمای منتشر شده در Daisy (اگر که از نصب کننده‌ی ویندوز MS استفاده می‌کنید). شما می‌توانید دوباره آن را در متغیر محیط DAISYPATH یاDAISYHOME بنویسید، یا به‌طور مستقیم مسیر فایل راه‌انداز را همانند زیر تعیین کنید:

```
;; Search file files these places.
(path "." "c:/My Files/daisy/lib/" &old)
```

1 path
2 current directory

توجه شود که ".." بدین معنی است که "در فهرست راهنمای اخیر جستجو کن" و اینکه شما باید از علامت اسلش (/)[1] به‌جای بک‌اسلش (\ )[2] در نام‌های مسیر استفاده کنید. کلمه کلیدی &old به‌معنی مقادیر قدیمی در مسیر است. یعنی اینکه Daisy ابتدابه فایل‌های فهرست اخیر توجه می‌کند، سپس در آدرس C:\My Files\daisy\lib جستجو و در نهایت، اگر چیزی تعیین نشده باشد، فایل‌ها رادر جایی که ظاهر می‌گردند، پیدا می‌کند.

اگر Daisy با TextPad شروع گردد، بعد از دنبال نمودن دستورالعمل‌های صفحه اصلی، فهرست راهنمای اخیر، همان فهرستی است که در TextPad فعال است. با این حال، شما می‌توانید آن را در فایل راه‌اندازی به‌طور صریح و مستقیم به‌صورت زیر مشاهده نمایید:

```
;; Run program here.
(directory "c:/My Files/Andeby/sim01")
```

مزیت این روش این است که می‌توانید شبیه‌سازی را با کشیدن فایل راه‌اندازی بر روی آیکون daisy.exe در فایل مدیریت انجام دهید. اگر directory (فهرست راهنما) را مشخص نکرده باشید، اجرای برنامه‌تان در هر جایی بیهوده است.

دلیل توصیه مسیر DAISYPATH این است که فایل راه‌اندازی در موقعیتی مستقل باشد. به این صورت که، اگر آن را برای کسی که Daisy را در جای دیگر نصب کرده است بفرستید، او نیز بتواند بدون تغییر آن را اجرا نماید. اگر directory را تعیین نمایید، او باید آن دو خط را تغییر دهد. آنچه که توصیه نمی‌شود استفاده مطلق از نام فایل است.
برای مثال،

```
(input file "c:/Program Files/daisy/lib/fertilizer.dai")
```

این‌کار به شما کمک می‌کند، اما تعداد زیادی از سطرها هم وجود دارند، هنگامی که فایل را جابجا می‌کنید باید آن را تغییر دهید.

1 slash
2 backslash

الف. ویژگی‌های تجربی

این ویژگی‌ها همچنان تجربی هستند و بهتر است برای شبیه‌سازی‌های معمول "normal" استفاده نشود. از آن‌ها باید برای شبیه‌سازی‌هایی استفاده شود که هدف آن‌ها سنجش هر یک از ویژگی‌ها است.

الف. ۱. یخ

الف. ۲. توده خاک

الف. ۳. فسفر

الف. ٤. تقسیم و ترکیب زمینه‌ها

الف. ۵. مرزبندی

مرزبندی، یک عملیات خاک‌ورزی خاص است. مرزبندی کشاورزی درمناطق گرمسیری، متداول است در آنجا بسته به شرایط، دارای اثرات سودمندی است، از جمله ممانعت از فرسایش، کنترل رطوبت خاک و افزایش عمق مؤثر ریشه. همچنین تحت شرایط دمایی مختلف استفاده می‌شود؛ برای مثال در کشت سیب‌زمینی در دانمارک، با توجه به گرما، مرزبندی شرایط رشد بهتری را در خاک فراهم می‌نماید.

در Daisy، مرزبندی تنها بر جریان خاک و آب سطحی اثرگذار است، که در واقع یک پوسته با نفوذپذیری سخت[1] فرض می‌شود، که این امر باعث می‌شود که کمتر به کشت سیب‌زمینی دانمارکی مرتبط باشد.

شما می‌توانید تعیین کنید که مرزبندی زمین به چه صورت باشد با دستور ridge.

```
(ridge (z (0.0 0.0) (0.4 0.0) (0.6 50) (1.0 50.0))
       (R_crust 50 [h]))
```

که در آن، z ارتفاع مرزمی‌باشد، که به‌صورت تابعی از x است z(x)، که در آن x فاصله نسبی از وسط مرز است. x=0.0، نقطه وسط مرز است، در حالی‌که x=1.0 بیشترین فاصله از آن است. فرضبراین است که مرز متقارن است. z(x) در بالای سطح خاک مرزبندی نشده برحسب سانتی‌متر است، یعنی اینکه سیستم مرجع آن همانند باقی مدل است.

1 hard-to-penetrate crust

R-crust مقاومت در پوسته است. این پارامتر بر اساس میزان کنترل نفود آب تعیین می‌شود.

مرز نباید بلندتر از افق بالایی باشد، چرا که باید این فاصله تا مرز از لحاظ ویژگی‌های هیدرولیکی یکنواخت باشد.

برای حذف مرز، می‌توانید عملیات خاک‌ورزی را تعریف نمایید.

به‌صورت فنی، عملیات مرزبندی یک زیرسیستم درون Daisy ایجاد می‌کند که در آن، جریان آب از اطراف به درون دیواره مرز و یا پایین آن، از طریق کف مرز است.

شما می‌توانید این زیرسیستم را با پارامترهای ورودی زیر فراخوان کنید:

Ridge اطلاعات در مورد مرزبندی زیرسیستم است. فایل: ridge.dlf.

الف. ٦. LAI اجباری

می‌توان CAI را به اجبار طوری مشخصنمود که یک مقدار خاصی را برای هر قسمت از سال داشته باشد. اگر کل CAI اندازه‌گیری گردد و از Daisy خواسته شود این مقادیر را برای فتوسنتز و تعرق (و ظرفیت حائل) استفاده نماید، این روش مفید است. در اینجا مثالی ذکر می‌شود:

```
(defcolumn Andeby default
  "The B.And farm, Andeby, 2003."
  (Vegetation crops
              (ForcedLAI (1987 (100 2.0) (200 4.0))
                         (1988 (100 0.0) (150 1.5) (200 5.0))))
  (Soil (horizons (-20 [cm] Ap) (-2.5 [m] C))
      (MaxRootingDepth 60.0 [cm]))
  (Groundwater deep))
```

کد بالا باید این‌طور خوانده شود: در سال ۱۹۸۷، CAI به صورت اجباری شروع گردید که در روز ۱۰۰ مقدار آن ۲/۰ و CAI اجباری انتهایی در روز ۲۰۰ برابر با ۵/۰ بود. از درون‌یابی خطی بین این دو نقطه استفاده و و بر این اساس در روز ۱۵۰ مقدار آن ۴/۰ برآورد شد. قبل از روز ۱۰۰ و بعد از روز ۲۰۰ از مقدار CAI شبیه‌سازی شده استفاده گردد. در سال ۱۹۸۸ ما در روز ۱۰۰ با مقدار صفر شروع کردیم، که به‌صورت خطی به عدد ۱/۵ در روز ۱۵۰ ، و از آنجا دوباره به‌صورت خطی به عدد ۵ در روز ۲۰۰ رسید، که در این مرحله دوباره به استفاده از CAI شبیه‌سازی شده استفاده نمودند. در سال‌های بعد نیز از LAI شبیه‌سازی شده استفاده نمودند.

تنها مقادیر پارامتری مدل رشد گیاهی پیش‌فرض از رفتار ForcedLAI (شاخص سطح برگ اجباری) تاثیرپذیر هستند.

اگر چندین گیاه وجود داشته باشد، CAI اجباری بر اساس اندازه نسبی مقادیر CAI شبیه‌سازی شده، در بین آن‌ها توزیع می‌شود. وقتی CAI اجباری فعال باشد، این تنها زمانی است که از CAI شبیه‌سازی شده استفاده می‌شود.

الف. ۱. ٦. مدل‌های فراخوان شده

CAI شبیه‌سازی شده از هر روشی قابل محاسبه خواهد بود و می‌توان آن را فراخوانی نمود. وقتی LAI اجباری تحت تأثیر است، بیشتر فایل‌های فراخوان شده تنها مقادیر CAI واقعی را استفاده می‌کنند، که جمع شاخص سطح برگ، ساقه و اندام ذخیره نخواهد بود. مدل فراخوان شده جدید "Forced LAI" هر دو مقادیر CAI استفاده شده؛ اعم از شبیه‌سازی شده و اجباری را فراخوان می‌کند. به‌عنوان پیش‌فرض، در واقع جمع شاخص سطح کل گیاه فراخوان می‌شود، برای فراخوان کردن قسمت خاصی از گیاه به‌صورت مجزا، دستور crop را به‌صورت زیر انجام دهید:

ب. آزمایش (test.dai)

test.dai فایل نمونه موجود در کتابچه Daisy است.

(توضیحات مربوط به "شبیه‌سازی به‌منظور آموزش" است)

```
;; Use standard parameterizations.
(input file "tillage.dai")
(input file "crop.dai")
(input file "log.dai")

;; Weather data.
(weather default "dk-taastrup.dwf")

;; We have some very sandy soil.
(defhorizon Ap FAO3
  "Andeby top soil."
  (clay 8.0 [%])
  (silt 10.5 [%])
```

```
   (sand 81.5 [%])
   (humus 1.12 [%])
   (C_per_N 11.0 [g C/g N])
   (dry_bulk_density 1.5 [g/cm^3]))

(defhorizon C Ap
   "Andeby C horizon."
   (humus 0.12 [%]))

;; We build the column from the horizons.
(defcolumn Andeby default
   "Data collected by F.Guf at the B.And farm, Andeby, 2002."
   (Soil (horizons (-20 [cm] Ap) (-2.5 [m] C))
         (border -1 [m])
         (MaxRootingDepth 60.0 [cm]))
   (OrganicMatter original
                        (init (input 1400 [kg C/ha/y])
                              (root 480 [kg C/ha/y])
                              (end -20 [cm])))
   (Groundwater deep))

;; Use it.
(column Andeby)

;; Simulation start and stop dates.
(time 1986 12 1 1)
(stop 1988 4 1 1)

(manager activity
   (wait (at 1987 3 20 1))
   (plowing)
   (wait (at 1987 4 4 1))
   (fertilize (mineral (weight 100.0 [kg N/ha])
                       (NH4_fraction 0.5 [])))
   (wait (at 1987 4 5 1))
   (progn
      (sow "Grass")
      (sow "Spring Barley"))
   (wait (or (crop_ds_after "Spring Barley" 2.0)
             (at 1987 9 5 1)))
```

```
  (harvest "Spring Barley")
  (wait (at 1987 9 8 1))
  (fertilize (mineral (weight 80.0 [kg N/ha])
                      (NH4_fraction 0.5 [])))
  (wait (at 1987 10 10 1))
  (cut "Grass"
       (stub 8.0 [cm]) ;                    Leave 8 cm stub.
       (stem 1.00 [])) ;                    Harvest everything above stub.

;; Create these log files.
(output harvest
        ("Field nitrogen" (when monthly))
        ("Soil nitrogen" (when daily) (from 0 [m]) (to -1 [m]))
        ("Field water" (when monthly))
        ("Soil water" (when daily) (from 0 [m]) (to -1 [m]))
        ("Crop Production"
         (crop "Spring Barley")
         (where "sbarley.dlf"))
        (checkpoint (when (at 1987 8 7 6))))


;;; test.dai ends here.
```

ج. فهرست مراجع مربوطه

[Abrahamsen, 1999] Abrahamsen, P. (1999). Daisy program reference manual. Technical Report 81, Dina KVL.

[Hansen, 2002] Hansen, S. (2002). Daisy, a flexible soil-plant-atmosphere sys tem model. Web page. http://code.google.com/p/daisy-model/wiki/DaisyDescription.

[Hansen et al., 1990] Hansen, S., Jensen, H. E., Nielsen, N. E., and Svendsen, H. (1990). DAISY — soil plant atmostphere system model. Technical Report A10, Miljøstyrelsen.

د. فایل‌های فراخوان شده استاندارد

این بخش ستون‌های مربوط به فایل‌های فراخوان مهم را توصیف می‌کند.

د. ۱. برداشت

ورودی همه برداشت‌ها را به این‌صورت بسازید.

فهرست ستون‌ها (موارد متداول):

• stem DM : [Mg DM/ha]

ماده خشک ساقه خارج شده از مزرعه پس از برداشت.

• dead DM : [Mg DM/ha]

برگ زرد خشک شده‌ی خارج شده از مزرعه پس از برداشت.

• leaf DM : [Mg DM/ha]

برگ سبز خشک خارج شده از مزرعه پس از برداشت.

• sorg DM : [Mg DM/ha]

ماده خشک اندام ذخیره (غلات یا غده) خارج شده از مزرعه پس از برداشت. برای برخی از محصولات، تنها بخش مهم از نظر اقتصادی، اندام ذخیره در نظر گرفته می‌شود.

فهرست ستون‌ها (اگر همراه با N بیاید[1]):

• stem N : [kg N/ha]

نیتروژن ساقه خارج شده از مزرعه پس از برداشت.

• dead N : [kg N/ha]

نیتروژن برگ زرد شده‌ی خارج شده از مزرعه پس از برداشت.

• leaf N : [kg N/ha]

نیتروژن برگ سبز شده‌ی خارج شده از مزرعه پس از برداشت.

• sorg N : [kg N/ha]

نیتروژن اندام ذخیره (غلات یا غده) خارج شده از مزرعه پس از برداشت.

1 If print_N is set

فهرست ستون‌ها (اگر همراه با C بیاید[1]):

• stem C : [kg C/ha]

کربن ساقه خارج شده از مزرعه پس از برداشت.

• dead C : [kg C/ha]

کربن برگ زرد شده‌ی خارج شده از مزرعه پس از برداشت.

• leaf C : [kg C/ha]

کربن برگ سبز شده‌ی خارج شده از مزرعه پس از برداشت.

• sorg C : [kg C/ha]

کربن اندام ذخیره (غلات یا غده) خارج شده از مزرعه پس از برداشت.

فهرست ستون‌ها (موارد متداول):

• WStress: [d]

ارزش از دست رفته تعداد روزهای تولید گیاهی از دست رفته به‌دلیل تنش آب.

این یک معیار تقریبی است. با وزن‌دهی تغییرات تنش آب در طول روز بر اساس مقدار تابش جهانی دریافت شده در همان دوره محاسبه می‌شود. بنابراین تنش آبی در ظهر با تشعشع بالا، بسیار بیشتر از تنش آبی نزدیک غروب خورشید با تشعشع کم است. از آنجایی که همه روزها یکسان در نظر گرفته می‌شوند، تنش آبی یک روز با تشعشع کم مانند تنش آبی در روز با تشعشع بالا محاسبه می‌شود.

• NStress: [d]

ارزش تعداد روزهای تولید گیاهی از دست رفته به‌دلیل تنش نیتروژن.

این یک معیار تقریبی است. با وزن‌دهی تغییرات تنش نیتروژن در طول روز بر اساس مقدار تابش جهانی دریافت شده در همان دوره محاسبه می‌شود. بنابراین تنش نیتروژن در ظهر با تشعشع بالا، بسیار بیشتر از تنش آبی نزدیک غروب خورشید با تشعشع کم است. از آنجایی که همه روزها یکسان شمرده می‌شوند، تنش نیتروژن در یک روز با تشعشع کم مانند تنش نیتروژن در روز با تشعشع بالا محاسبه می‌شود.

• WP ET: [kg/m^3]

1 If print_C is set

معیاری برای بهره‌وری مصرف آب. عملکرد اقتصادی محصول به‌ویژه (اندام ذخیره) است، که بر اساس میزان تبخیر–تعرق کل طی دوره از جوانه‌زنی تا بلوغ یا برداشت استنتاج می‌شود.

د. ۲. آب مزرعه

یک مدل ستون خاک 'column' در 'log-std.dai' تعریف شده است.

حاوی اطلاعات مربوط به مقدار آب ورودی، خروجی و مقدار آب موجود در سیستم است.

این مدل فراخوان به‌منظور استفاده از بیلان آب در مقیاس بزرگ است؛ مانند مدیریت منابع. این مدل اطلاعاتی در زمینه مقدار آب در مزرعه (تا عمق مشخص)، محل قرارگیری آن در مزرعه (سطح، ماتریس خاک یا منافذ زیستی)، و همچنین منابع آب، میزان نشت و مقدار آب ورودی یا خروجی از سیستم را ارائه می‌کند. ولی اطلاعاتی در زمینه انتقال داخلی آب بین سطح، ماتریس خاک و حفره‌های زیستی ارائه نمی‌دهد، این بخش در قسمت مدل "رطوبت خاک" ارائه شده است.

به‌منظور برقراری تعادل این مدل در کار، باید منطقه ریشه و هم‌چنین منطقه منافذ زیستی را در نظر بگیرید.

فهرست ستون‌ها:

• Precipitation: [mm]

مقدار کل آب ورودی به سیستم به‌صورت باران و برف.

• Irrigation: [mm]

کل مقدار آبی که از طریق آبیاری به سیستم اضافه می‌شود.

• Potential evapotranspiration: [mm]

انرژی مورد نیاز برای تبخیر این مقدار از آب.

• Actual evapotranspiration: [mm]

مقدار آب حذف شده بر اثر تبخیر و تعرق.

قسمت تبخیر شامل، آب تبخیر شده از سطح خاک، تکه‌های برف، یا آب پاشیده شده روی تاج گیاهان است. تعرق شامل آب حذف شده از خاک از طریق سیستم ریشه و روزنه‌های روی برگ‌ها است.

زمانی که آب موجود کافی نباشد، تبخیر و تعرق واقعی کمتر از تبخیر و تعرق پتانسیل خواهد بود.

• Matrix percolation: [mm]
این عدد، مقدار آب خروجی از سیستم، از طریق کف خاک است. در صورت افزایش کاپیلاری، می‌تواند منفی باشد.

• Soil drain flow: [mm]
مقدار آب خارج شده از سیستم به سمت لوله‌های زهکش.

توجه داشته باشید که اگر پارامتر "to" را مشخص کرده باشید، مقدار کل آب در لوله‌های زهکشی ممکن است بیشتر از این باشد، زیرا کل پروفیل خاک به جریان زهکشی کمک می‌کند، در حالی‌که در اینجا فقط بخش فواصل خاکی که به مدل داده می‌شود، محاسبه می‌گردد.

• Surface drain flow: [mm]
جریان آب از سطح به سمت زهکش از طریق منافذ زیستی، با عبور از ماتریس خاک.

• Runoff : [mm]

مقدار آب جاری شده بر سطح.

به‌منظور شبیه‌سازی رواناب از سطح شیب‌دار در نظر گرفته شده است. با این حال، وقتی که Daisy به‌صورت مدل یک بُعدی عمل می‌کند، انتقال آب با مشکل مواجه می‌شود. برای تنظیمات معمول، این مقدار صفر خواهد بود.

• Tertiary water : [mm]

مقدار کل آب موجود در حفره‌های زیستی.

توجه داشته باشید که سیستم منافذ زیستی مکان قرارگیری آب در خاک را پیگیری نمی‌کند، بنابراین شما همیشه مقدار کل را دریافت خواهید کرد، حتی اگر به‌طریقی بخشی از خاک را به این عنوان معرفی کنید.

• Soil water : [mm]
محتوای کل آبِ خاک.

• Surface water : [mm]

کل آب ذخیره شده روی سطح. این شامل توده برف، آب فرود آمده بر گیاه، آب غرقابی، و آب در لایه بستر است.

د. ۳. رطوبت خاک

مدل ستون خاک 'column' تعریف شده در 'log-std.dai'.

حاوی اطلاعاتی در مورد آب ورودی، آب خروجی و محتوای خاک است.

فهرست ستون‌ها:

• Matrix infiltration: [mm]

مقدار آب وارد شده به خاک از طریق سیستم ماتریس خاک. این مسیر معمولِ نفوذ است.

• Matrix percolation: [mm]

مقدار آب خارج شده از طریق سیستم ماتریس خاک. این مسیر معمولِ نفوذ است.

• Subsoil irrigation: [mm]

مقدار آبی که مستقیماً وارد خاک می‌شود. مقدار آب شامل آبیاری زیرزمینی و هر آبی است که با کوددهی مستقیماً وارد خاک می‌شود.

• Tertiary: [mm]

مقدار خالص آب خارج شده از ماتریس خاک به‌سمت حفره‌های زیستی.

اگر مقدار آب وارد شده و خارج شده یکسان باشد، این مقدار ممکن است صفر شود.

• Drain flow: [mm]

آب موجود در بافت خاک که به سمت لوله‌های زهکشی جریان می‌یابد.

توجه داشته باشید که آب از تمام لایه‌های خاک، هم در بالا و هم از زیر لوله‌ها وارد لوله‌ها می‌شود و حتی آب، از افق لایه محافظ آبخوان که در زیر افق‌های معمول خاک قرار دارد نیز، به لوله‌های زهکش جریان می‌یابد. بنابراین اگر نیم‌رخ کامل خاک را کمتر از واقعی مشخص کرده باشید؛ یعنی اگر پارامترهای 'from' یا 'to'را تنظیم کرده باشید، مقدار ثبت شده در اینجا، کمتر از کل مقدار آب در لوله‌های تخلیه خواهد بود.

اگر خاک زهکشی نشود، یعنی مدل آب زیرزمینی مشخص شده 'pipe' (لوله) نباشد، این مقدار صفر خواهد شد.

• Root extraction: [mm]

آب موجود در بافت خاک که از طریق ریشه‌ها جذب می‌شود.

اگر خلل‌وفرج ثبت شده خاک شامل کل ناحیه ریشه باشد، این عدد برابر با تعرق خواهد بود.

• Freezing: [mm]

آب موجود در بافت خاک که به یخ تبدیل می‌شود.

این عدد برابر با صفر خواهد بود مگر آن‌که پارامتر گرمای خاک به‌صورت 'enable ice' (فعال‌سازی یخ) باشد.

• Tillage: [mm]

مقدار خالص آبی که با عملیات خاک‌ورزی به خاک اضافه می‌شود.

اگر خلل‌وفرج در کل خاک، حاصل از عملیات خاک‌ورزی باشد، آنچه که در حالت معمول است، این عدد صفر خواهد بود. در صورتی که در عملیات خاک‌ورزی آب بیشتر از آنچه از سیستم خاک خارج می‌شود را، اضافه کرده باشد، عدد منفی خواهد بود.

• Soil water : [mm]

مقدار کل آب موجود در بافت خاک.

د. ٤. نیتروژن مزرعه

مدل ستون خاک 'column' تعریف شده در 'log-std.dai'.

حاوی اطلاعات در زمینه آب ورودی، آب خروجی و محتوای خاک است.

اطلاعات در مورد میزان نیتروژن ورودی، خروجی، نیتروژن تبدیل شده و محتوای نیتروژن برای سیستم است. موارد مورد استفاده از این فایل فراخوان، مربوط به بیلان نیتروژن در مقیاس بزرگ است، مانند مدیریت منابع. این مدل، اطلاعاتی در زمینه مقدار نیتروژن در مزرعه (تا عمق مشخص)، محل قرارگیری آن در مزرعه (سطح، ماتریس خاک یا منافذ زیستی)، و شکل آن (نیتروژن محصول، نیتروژن به‌صورت مواد آلی، یا مواد معدنی خاک) را ارائه می‌دهد، همچنین منابع، میزان نیتروژن ورودی و خروجی از سیستم و تبدیل این چهار شکل نیتروژن به یکدیگر را ارائه می‌کند. منابع، مخازن و مقادیر نیتروژن ورودی یا خروجی از سیستم و تبدیل بین این چهار شکل را نیز ارائه می‌دهد، ولی اطلاعاتی در زمینه انتقال داخلی نیتروژن بین سطح، ماتریس خاک و حفره‌های زیستی ارائه نمی‌کند، این بخش در قسمت «نیتروژن خاک» ارائه شده است. برای ایجاد بیلان این مدل فراخوان شده و فعال کردن آن، باید کل ناحیه توسعه ریشه و همچنین ناحیه منافذ زیستی را در تعریف نمایید.

فهرست ستون‌ها:

• Min-Surface-Fertilizer : [kg N/ha]
کود معدنی افزوده شده در بالای سطح خاک.

• Min-Soil-Fertilizer : [kg N/ha]
کود معدنی تزریق شده به خاک.

• Deposition: [kg N/ha]
نیتروژن افزوده شده به سطح خاک در قالب رسوب جَو.

• Leaching: [kg N/ha]
تلفات ناشی از آبشویی و نشت به زیر عمق معین. در صورت صعود کاپیلاری، مقدار آن می‌تواند منفی باشد.

• Soil-Drain: [kg N/ha]
تلفات نیتروژن از ماتریس خاک به لوله‌های زهکشی.
این پارامتر شامل تلفات مستقیم از ماتریس خاک به‌سمت زهکش، و تلفات از ماتریس خاک به‌سمت منافذ زیستی است که به سیستم زهکشی متصل هستند.

• Surface-Drain: [kg N/ha]
تلفات نیتروژن از سطح بالای خاک به سمت لوله‌های زهکشی، از طریق منافذ زیستی. این تلفات کاملاً از ماتریس خاک عبور می‌کند.

• Surface-Loss: [kg N/ha]
تلفات نیتروژن معدنیِ ذخیره شده در بالای سطح.
این شامل منابع مختلفی است که معمولاً کمیاب و یا کوچک هستند؛ مانند رواناب سطحی، نیتروژن معدنی روی برگ‌های خارج شده از مزرعه در هنگام برداشت، و تبادلات شیمیایی. این شامل تبخیر یا نفوذ نمی‌شود.

• Min-Surface: [kg N/ha]
نیتروژن معدنی ذخیره شده در بالای سطح خاک. این شامل برگ‌ها، آب غرقابی و غیره است.

• Min-Soil: [kg N/ha]
نیتروژن معدنی ذخیره شده در ماتریس خاک.

• Biopores: [kg N/ha]

نیتروژن معدنی ذخیره شده در منافذ زیستی.

• Error : [kg N/ha]

نیتروژن معدنی "میزان خطا."
اگر فرآیندهای مربوط به حذف نیتروژن از مکانی در خاک سریع‌تر از گام زمانی باشد، می‌توان آن را غیر–صفر[1] در نظر گرفت. اگر این اتفاق بیافتد، باید شبیه‌سازی را با تعریف یک گام زمانی کوتاه‌تر، دوباره اجرا کرد. یا سیستم را مجدداً تنظیم نمود، به‌طوری‌که فرآیندهای مربوط به حذف نیتروژن معدنی را کُندتر کند.

• Mineralization: [kg N/ha]

تولید NH4 در ماتریس خاک با معدنی شدن مواد آلی.

• Immobilization: [kg N/ha]

NO3 ساکن حاصل از تبدیل مواد آلی.

• Crop-Uptake: [kg N/ha]

جذب نیتروژن توسط ریشه.

• Volatilization: [kg N/ha]

کود–NH4 از بین رفته طی فرایند.

• N2O-Nitrification: [kg N/ha]

میزان تولید N2O در ماتریس خاک بر اثر نیتریفیکاسیون.
فرض بر این است که N2O تولید شده به درون جَو رها می‌شود و توسط مدل ردیابی نخواهد شد.

• Denitrification: [kg N/ha]

تلفات NO3 حاصل از نیترات‌زدایی.

• Fixated: [kg N/ha]

نیتروژن جوّی تثبیت شده توسط محصول.

• Org-Fertilizer : [kg N/ha]

نیتروژن ایجاده شده به‌صورت ارگانیک توسط کوددها.

• Seed: [kg N/ha]

نیتروژن موجود در دانه‌ها در هنگام کاشت.

1 None-zero

• Harvest: [kg N/ha]

نیتروژن حذف شده به‌عنوان قسمتی از برداشت.

• Residuals-Surface: [kg N/ha]

بقایای گیاه روی سطح زمین.
این هم شامل لایه‌برداری در طول رشد محصول و هم هر گونه بقایای رها شده بر روی زمین پس از برداشت است.

• Residuals-Soil: [kg N/ha]

بقایای گیاه در زیر زمین.
این شامل ریشه مرده و رسوب ریز در طول رشد گیاه، و هم‌چنین ریشه‌های رها شده پس از برداشت است.

• Org-Surface: [kg N/ha]

مقدار نیتروژن مواد آلی بر روی سطح خاک.
در واقع شامل نیتروژن درون محصول نمی‌شود.

• Org-Soil: [kg N/ha]

مقدار نیتروژن مواد آلی در زیر سطح خاک، که شامل نیتروژن موجود در ریشه‌های زنده نمی‌شود.

• Crop: [kg N/ha]

میزان نیتروژن محصول، به استثنای برگ‌های مرده.

د. ۵. نیتروژن خاک

مدل ستون خاک ’column‘ تعریف شده در ’log-std.dai‘.

اطلاعات در مورد نیتروژن ورودی، خروجی، نیتروژن تبدیل شده و محتوای نیتروژن درون خاک است.

فهرست ستون‌ها:

• NO3-In: [kg N/ha]

NO3-N نفوذ یافته.

• NO3-Leak-Matrix : [kg N/ha]

NO3-N آبشویی شده.

• NO3-Tertiary: [kg N/ha]

حرکت خالص NO3-N از ماتریس خاک به‌سمت منافذ زیستی.

اگرNO3 خارج شده از منافذ زیستی بیشتر از خلل‌وفرج خاک تعیین شده موجود در منافذ زیستی باشد، این مقدار منفی خواهد شد. یک مورد رایجی که در آن، این اتفاق می‌افتد، زمانی است که NO3 از سطح خاک وارد منافذ زیستی می‌شود.

• NO3-Drain: [kg N/ha]

NO3-N خارج شده به سمت زهکش‌ها.

• NO3-Incorp: [kg N/ha]

NO3-N تزریق شده به‌طور مستقیم به درون خاک.

• NO3-Tillage: [kg N/ha]

NO3-N افزوده شده بر اثر عملیات خاک‌ورزی.

• NO3-Uptake: [kg N/ha]

NO3-N جذب شده از طریق ریشه گیاه.

• NO3-Content: [kg N/ha]

محتوای NO3-N ماتریس خاک (به استثنای منافذ زیستی).

• NO3-Error : [kg N/ha]

NO3-N میزان خطا.

اگر برخی فرآیندهای حذف NO3 سریع‌تر از گام زمانی باشد، می‌توان آن را موقتاً غیر صفر در نظر گرفت.

• NH4-In: [kg N/ha]

NH4-N نفوذ یافته.

• NH4-Leak-Matrix : [kg N/ha]

NH4-N آبشویی شده.

• NH4-Tertiary: [kg N/ha]

حرکت خالص NH4-N از ماتریس خاک به‌سمت منافذ زیستی.

اگر NH4-N خارج شده از منافذ زیستی بیشتر از خلل‌وفرج خاک تعیین شده موجود در منافذ زیستی باشد، این مقدار منفی خواهد شد. یک مورد رایجی که در آن، این اتفاق می‌افتد، زمانی است که NH4 از سطح خاک وارد منافذ زیستی می‌شود.

• NH4-Drain: [kg N/ha]
NH4-N خارج شده به سمت لوله‌های زهکش.

• NH4-Tillage: [kg N/ha]
NH4-N افزوده شده بر اثر عملیات خاک‌ورزی.

• NH4-Incorp: [kg N/ha]
NH4-N تزریق شده به‌طور مستقیم به درون خاک.

• NH4-Uptake: [kg N/ha]
NH4-N جذب شده از طریق ریشه گیاه.

• NH4-Content: [kg N/ha]
محتوای NH4-N ماتریس خاک (به استثنای منافذ زیستی).

• NH4-Error : [kg N/ha]
NH4-N میزان خطا.

اگر برخی فرآیندهای حذف NH4 سریع‌تر از گام زمانی باشد، می‌توان آن را موقتاً غیر–صفر در نظر گرفت.

• Denitrification: [kg N/ha]
NO3-N حذف شده بر اثر نیترات‌زدایی.

• NH4-Nitrification: [kg N/ha]
NH4-N افزوده شده بر اثر نیتریفیکاسیون.

• NO3-Nitrification: [kg N/ha]
NO3-N افزوده شده بر اثر نیتریفیکاسیون.

• N2O-Nitrification: [kg N/ha]
تلفات NH4-N به‌صورت N2O در فرآیند نیتریفیکاسیون.

• NH4-Mineralization: [kg N/ha]

NH4-N افزوده شده بر اثر معدنی شدنِ مواد آلی خاک.

• NO3-Immobilization: [kg N/ha]
NO3-N حدف شده توسط فرآیند تبدیل مواد آلی.

• Residuals-N : [kg N/ha]
نیتروژن موجود در مواد آلی که از طریق ریشه به خاک افزوده شده است.

• Tillage-Org N : [kg N/ha]
نیتروژن موجود در مواد آلی که از طریق عملیات خاک‌ورزی به خاک افزوده شده است.

• Bioincorporation: [kg N/ha]

نیتروژن موجود در مواد آلی که از طریق زایش زیستی به خاک افزوده شده است. این شامل برگ‌های مرده‌ای است که به‌وسیله کرم‌های خاکی از سطح خاک جدا شده اند.

• AOM : [kg N/ha]
مقدار کل نیتروژن موجود در مواد آلی افزوده شده به خاک.
AOM شامل کود و بقایای گیاهی است که هنوز تجزیه نشده است.

• SOM : [kg N/ha]
مقدار کل نیتروژن موجود در هوموس خاک.
این شامل مواد آلی مرده‌ای است که دیگر نمی‌توان منشا آن را ردیابی کرد.

• SMB: [kg N/ha]
نیتروژن موجود در موجودات میکروبیولوژیکی خاک.
قسمت زنده خاک (به استثنای ریشه گیاه).

• Buffer : [kg N/ha]

نیتروژن موجود در هوموس افزوده شده بر اثر کوددهی که هنوز برای فرآیند تبدیل در دسترس نیست، مقدار آن معمولاً صفر است.

د. ٦. مواد شیمیایی مزرعه

مدل مواد شیمیایی 'chemical' تعریف شده در 'log-std.dai'.

حاوی اطلاعات در مورد محتوای مواد شیمیایی، حرکت و عبور آن و تبدیل مواد شیمیایی در مزرعه است.

فهرست ستون‌ها:

• Spray: [g/ha]

اعمال شده بر روی سطح.
مواد شیمیایی را می‌توان از طریق عملیات مدیریتی مانند سمپاشی، کوددهی و آبیاری به سطح اضافه نمود.

• Deposit: [g/ha]

رسوب جوّی.
این معمولاً در هنگام ردیابی آفت‌کش‌ها صفر است، اما می‌تواند مرتبط با آلاینده‌های جوی باشد، و هم‌چنین برای نیتروژن قابل توجه است.

• Harvest: [g/ha]

از طریق برداشت حذف می‌شود.
مقداری از مواد شیمیایی ممکن است روی تاج گیاهی باقی بماند، و در طول برداشت از مزرعه خارج شود. معمولاً در بیلان کلی مهم نیست، اما بسته به نوع ماده شیمیایی ممکن است برای مصرف‌کنندگان مهم باشد.

• Dissipate: [g/ha]

پراکنش از تاج گیاه.
برخی از مواد شیمیایی وقتی روی تاج گیاه ذخیره می‌شوند، تبخیر یا تجزیه می‌گردند.

• Litter Decompose: [g/ha]

مقدار تجزیه شده در هنگام نگهداری درون بسته‌هایی روی بستر خاک.

• Surface Decompose: [g/ha]

مقدار تجزیه شده در هنگام نگهداری روی سطح خاک.

• Surface Transform: [g/ha]

مقدار افزوده شده حاصل از تبادلات شیمیایی در سطح خاک.

• Runoff : [g/ha]

تلفات از سطح خاک به‌دلیل جریانات جهت‌دار آب.

• Leak-Matrix : [g/ha]

تلفات بر اثر آبشویی.

• Soil-Drain: [g/ha]

تلفات از ماتریس خاک به‌سمت لوله‌های زهکشی.

• Surface-Drain: [g/ha]

مقداری که مستقیماً از سطح به‌سمت زهکش ، از طریق منافذ زیستی در حال حرکت است. اصلاً درتماس با ماتریس خاک نیست.

• External: [g/ha]

مقدار افزوده شده به خاک از طریق برخی ساختارهای خارجی، مانند آبیاری زیرزمینی.

• Uptake: [g/ha]

مقدار حذف شده از ماتریس خاک از طریق ریشه‌های گیاه.

• Soil Decompose: [g/ha]

مقدار تجزیه شده در طی عبور از ماتریس خاک.

• Soil Transform: [g/ha]

مقدار افزوده شده از طریق تبدیلات شیمیایی در ماتریس خاک.

• Snow: [g/ha]

مقدار ذخیره شده در توده برف.

• Canopy: [g/ha]

مقدار ذخیره شده بر روی تاج گیاهی.

• Litter : [g/ha]

مقدار ذخیره شده در بستر سطحی (مالچ، بقایای گیاهی، کود).

• Surface: [g/ha]

مقدار ذخیره شده در سطح خاک.

• Soil: [g/ha]

مقدار ذخیره شده در ماتریس خاک.

• Tertiary: [g/ha]

مقدار ذخیره شده در حفره‌های زیستی.

• Error : [g/ha]

مقدار خطا.

اگر برخی فرآیندهای حذف مواد شیمیایی سریع‌تر از گام زمانی باشد، می‌توان آن را موقتاً غیر–صفر در نظر گرفت.

د. ۷. مواد شیمیایی خاک

مدل مواد شیمیایی 'chemical' تعریف شده در 'log-std.dai'.

حاوی اطلاعات در مورد محتوای مواد شیمیایی، حرکت و عبور آن و تبدیل مواد شیمیایی در خاک است.

فهرست ستون‌ها:

• In: [g/ha]

مقدار نفوذیافته.

• Leak-Matrix : [g/ha]

مقدار آبشویی شده.

• Tertiary: [g/ha]

تلفات خالص در منافذ زیستی.

اگر جریان عبوری از ماتریس خاک به‌سمت منافذ زیستی بزرگتر از جریان عبوری از منافذ زیستی به‌سمت ماتریس خاک باشد، مقدار آن، مثبت است.

• Tillage: [g/ha]

مقدار افزوده شده بر اثر عملیات خاک‌ورزی.

• Drain: [g/ha]

تلفات به‌سمت زهکش.

• External: [g/ha]

مقدار افزوده شده از خارج، به‌عنوان مثال از طریق آبیاری زیرزمینی.

• Uptake: [g/ha]

تلفات بر اثر جذب آب توسط ریشه گیاه.

• Decompose: [g/ha]

مقدار تجزیه شده.

• Transform: [g/ha]

مقدار افزوده شده بر اثر تبادلات شیمیایی.

• Content: [g/ha]

مقدار کل در خلل‌وفرج تعیین شده‌ی خاک.

• Error : [g/ha]

مقدار خطا.

اگر برخی فرآیندهای حذف مواد شیمیایی سریع‌تر از گام زمانی شبیه‌سازی باشد، می‌توان آن را غیر صفر در نظر گرفت.

فصل دوم: معرفی زیرمدل‌های Daisy

Daisy یک مدل قابل انعطاف در سیستم خاک- گیاه- اتمسفر

Søren Hansen
The Royal Veterinary- and Agricultural University
Department of Agricultural Sciences
Laboratory for Agrohydrology and Bioclimatology

خلاصه

Daisy یک مدل قابل انعطاف در سیستم خاک- گیاه- اتمسفر است، برای شبیه‌سازی بیلان آب، بیلان گرما، بیلان املاح و تولید محصول در بوم‌سازگاری زراعی[1] با اعمال راهکارهای مختلف مدیریتی می‌باشد. مدل بیلان آب شامل، بیلان آب سطحی و بیلان آبِ خاک است. آب سطحی شامل مدلی برای میزان انباشت برف و ذوب آن، مدلی برای حائل بارش[2] و تبخیر آب در تاج[3] محصول و یک مدل برای نفوذ رواناب سطحی است. بیلان آبِ خاک شامل جریان آب در ماتریس خاک و همچنین در منافذ درشت است. علاوه بر این، شامل جذب آب توسط گیاهان و یک مدل زهکشی به زهکش لوله‌ای است. مدل بیلان گرما، دمای خاک، انجماد و ذوب شدن در خاک را شبیه‌سازی می‌کند. مدل بیلان املاح، فرایندهای انتقال، جذب سطحی و فرایندهای تبدیل را شبیه‌سازی نموده، بر مکانیک حرکت نیتروژن در بوم‌سازگاری زراعی تأکید ویژه دارد. معدنی شدن- تثبیت[4]، نیتریفیکاسیون و دینیتریفیکاسیون[5]، جذب سطحی آمونیوم، جذب نیترات و آمونیوم و آبشویی نیترات و آمونیوم را شبیه‌سازی می‌کند. تنزیل، جذب سطحی، جذب و انتقال مواد شیمیایی زراعی مانند آفت‌کش‌ها را شبیه‌سازی می‌نماید. مدل تولید محصول، رشد و توسعه گیاهان شامل تجمع ماده خشک و نیتروژن در قسمت‌های مختلف گیاهی را شبیه‌سازی می‌کند. علاوه بر این، توسعه شاخص سطح برگ و توزیع تراکم ریشه شبیه‌سازی می‌شود. رقابت برای نور، آب و نیتروژن بین اجزای گیاهی نیز شبیه‌سازی می‌گردد. مدل مدیریت کشاورزی این امکان را فراهم می‌نماید که سناریوهای مدیریتی پیچیده تعریف شود. مدل می‌تواند، برای چندین ستون خاک توزیع شده اجرا شود. تسهیلاتی مانند پیوست دادن این مدل به یک مدل حوضه آبریز هیدرولوژیکی وجود دارد. این امکان با پیوست مدل Daisy به مدل حوضه آبریز هیدرولوژیکی MIKE/SHE فراهم شد. علاوه بر این، نرم‌افزار

1 Egro-ecosystem
2 Through-fall
3 Canopy
4 Mineralization-immobolization
5 nitrification and denitrification

بسیار قابل انعطاف Daisy این امکان را فراهم می‌نماید که فرایندهای تعریف شده متفاوت از یک فرایند یکسان اجرا شود. فرایند تعریف شده انتخابی با تعریف مقادیر پارامتری، انتخاب می‌شود.

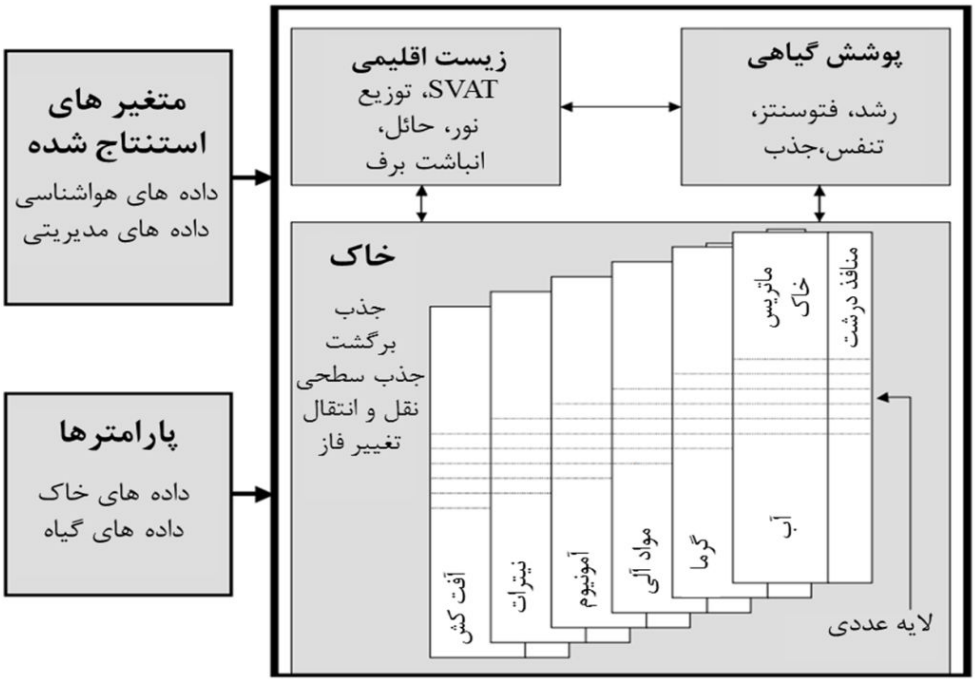
۲- مقدمه

در مناطق شرجی ورود آلودگی مواد شیمیایی در آبخوان‌ها و آب‌های سطحی، نتیجه اجتناب‌ناپذیرِ کشاورزی‌های پی در پی است؛ برای مثال، در قسمت‌های بزرگ اروپا، میزان نیتروژن ورودی به سیستم کشاورزی و زیان‌های متعاقب آن، بسیار زیاد بوده که آن را تهدیدی برای کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌دانند (EEA, 1995). در اکثر سیستم‌های کشاورزی، عمده‌ترین تلفات نیتروژن، به‌دلیل شست‌وشوی[1] نیترات از مزارع است. در واقع اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای مورد نیاز برای ارزیابی آبشویی از مزارع کشاورزی، پرهزینه هستند که این امر، ضرورت توسعه مدل‌های بوم‌سازگار زراعی را که قادر به شبیه‌سازی میزان شست‌وشو باشند، را نشان می‌دهد. این موضوع در دانمارک منجر به توسعه مدل Daisy گردید (Hansen et al., 1990, 1991a). از آن به بعد این مدل به‌طور گسترده، مورد استفاده قرار گرفت (برای مثال؛ بلیچر–مثیسن و همکاران (Blicher-Mathiesen et al., 1990)، بلیچر–مثیسن و همکاران (Blicher-Mathiesen et al., 1991)، هانسن و همکاران (Hansen et al., 1991b)، هانسن و همکاران (Hansen et al., 1992)، هانسن و اسوندسِن (Hansen and Svendsen, 1994, 1995a,b,c)، هانسن و همکاران (Hansen et al., 1999)، جنسن و اوسترگاد (Jensen and Østergaard, 1993)، جنسن و همکاران (Jensen et al., 1992)، جنسن و همکاران (Jensen et al., 1993)، جنسن و همکاران (Jensen et al., 1994a,b)، جنسن و همکاران (Jensen et al., 1996)، مَگید و کولسترِ (Magid and Kølster, 1995)، مولر و همکاران (Mueller et al., 1997)، پِترسِن و همکاران (Petersen et al., 1995)، رفیسگارد و همکاران (Refsgaard et al., 1999) و استیزن و استورم (Styczen and Storm, 1993a,b)). برنامه‌های کاربردی[2] مدل، شامل مطالعات علمی و مطالعات مربوط به مدیریت، با هدف حمایت از تصمیم‌گیری‌ها است. علاوه بر این، مدل با تعداد زیادی از آزمون‌های مقایسه‌ای اعتبارسنجی شده است (Vereecken et al., 1991; Hansen et al., 1991a,c; Willigen, 1991; Diekkrüger et al., 1995; Svendsen et al., 1995; Smith et al., 1997; Jensen et al., 1997). از این رو، Daisy را می‌توان به‌عنوان یک مدل به خوبی آزموده‌شده در نظر گرفت.

1 Leaching
2 Applications

Daisy یک مدل بوم‌سازگار زراعی یک بعدی است که به‌طور خلاصه، رشد محصول، بیلان آب و گرما، بیلان مواد آلی، حرکت آمونیوم و نیترات در خاک کشاورزی را بر اساس اطلاعات مربوط به عملیات مدیریتی و داده‌های هواشناسی شبیه‌سازی می‌کند (شکل ۱-۲). اخیراً، شبیه‌سازی مسیر حرکت آفت‌کش‌ها در مدل گنجانده شد و شبیه‌سازی بیلان مواد آلی و حرکت نیتروژن به شدت به‌هم وابسته است، بنابراین، مدل مواد آلی به‌عنوان بخش جدایی‌ناپذیر از مدل کلی بیلان نیتروژن و داده‌های هواشناسی به‌عنوان متغیر استنتاج شده استفاده می‌گردند. حداقل اطلاعات مورد نیاز، مقدار تابش جهانی به‌صورت روزانه، دمای هوا و بارندگی است. با این حال، اطلاعات جزئی بیشتری نیز می‌تواند توسط مدل به‌کار گرفته شود؛ برای مثال، مقدار تابش جهانی ساعتی، دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و بارندگی.

فصل حاضر شرح بسیار مفصلی را از مدل Daisy ارائه می‌دهد.



شکل ۲-۱ نمای شماتیک از مدل بوم‌سازگار زراعی **Daisy** . مدل شامل سه واحد مهم از جمله؛ زیست اقلیمی، پوشش گیاهی و خاک است.

۲-۱- نرم‌افزار مدل Daisy

تجربه به‌دست آمده با اجرای اصلی مدل Daisy، با عنوان توسعه عملکردهای نرم‌افزاری مدل خوانده‌شد. در مطالعات علمی، اغلب درخواستی برای آزمودن فرمولاسیون مدل‌های فرایند جایگزین و افزودن مدل‌های فرایند جدید وجود دارد؛ برای مثال اولین مورد، می‌توان به مطالعه روند نیتریفیکاسیون که در آن توصیفات فرایند جایگزین آزمایش می‌شود، اشاره نمود. برای دومی، می‌توان به‌عنوان مثال به مطالعه مسیرحرکت آفت‌کش‌ها در خاک اشاره نمود. علاوه بر این، مطالعات مدیریت‌گرایی، توانایی مدل در استفاده از شرح فرایند جایگزین، این امکان را فراهم می‌نماید، شرح فرایند بر اساس دقت مورد نیاز، داده‌های قابل دسترس و منابع قابل دسترس به‌صورت جزء زمانی-کامپیوتری[1] انتخاب شود. مطالعات شبیه‌سازی سیستم‌های کشاورزی ارگانیک[2]، برای قابلیت شبیه‌سازی سیستم‌های کشت مخلوط[3] به‌طور مجزا احساس نیاز گردید. مطالعات مربوط به ارزیابی اثرات زیست محیطی، به‌عنوان نمونه در مطالعه کیفی آب‌های زیرزمینی، این امر تصدیق شد که اجرایی که بتواند ارتباط سطح کد Daisy را با سیستم‌های مدل دیگر پشتیبانی کند، می‌تواند بسیار سودمند باشد؛ برای مثال استیکزن و استورم (Styczen and Storm, 1993a,b) Daisy را به یک مدل حوضه آبریز کامل توزیع داده شده، MIKE SHE (Abbott et al., 1986) به‌منظور شبیه‌سازی کیفیت آب‌های زیرزمینی درون حوضه هیدرولوژیکی، مرتبط کردند. با این حال، برای این منظور، آن‌ها مجبور به اجرای مکرر دو جزءِ سیستم مدل ترکیبی MIKE SHE/ DAISY شدند. مانند یک روش نزدیک به بهینه[4] است.

به‌منظور برآورد نیازها و خواسته‌های مطرح شده در قسمت بالا، نرم‌افزار مدل Daisy در چارچوب شبکه انفورماتیک دانمارک در علوم کشاورزی دوباره اجرا شد. نسخه جدید نرم‌افزاری مدل در مقایسه با اجرای اصلی آن، با حفظ قابلیت‌های قدیمی، توسعه‌هایی را پیشنهاد می‌کند. پشتیبانی نرم‌افزار مدل جدید از:

- شبیه‌سازی ستون‌های خاک چندگانه، مدل‌سازی توزیع شده را میسر می‌سازد.
- ارتباط با مدل‌های کامپیوتری دیگر (یک ارتباط به MIKE SHE توسعه یافته است).
- شبیه‌سازی سیستم‌های کشت مخلوط.

1 Terms of computer-time
2 Organic farming systems
3 Inter-cropping systems
4 Sub-optimal

- انتخاب در بین شرح فرایند جایگزین (مانند حرکت آب در منطقه غیراشباع، مدل‌های پارامتری هیدرولیکی خاک).
- معرفی مدل‌های فرایند جدید (مانند جریان در منافذ درشت، تنزیل و جذب سطحی مواد شیمیایی کشاورزی (آفت‌کش‌ها)).

اجراهای جدید، مدل را به سمت توسعه یک سیستم نرم‌افزاری قابل پیشرفت[1] سوق داده است، قاعده و اصل آن توسط آبرهانسن و هانسِن (Abrahamsen and Hansen, 2000) بیان گردیده است.

مقادیر پارامتریک و اولیه مدل Daisy در یک فایل نصب ویژه وجود دارد که توسط مولفه‌های تجزیه‌کننده‌ی خاص، خوانده می‌شود. سیستم ورودی بسیار انعطاف‌پذیر است، این امر، به‌طور جداگانه امکان ذخیره کامل یا جزئی مقادیر پارامتریکیِ مدل‌های فرایند انتخابی را در فایل‌های کتابخانه‌ای (مجموعه‌ای) را می‌دهد؛ به‌عنوان مثال، این قابلیت، برای ذخیره مقادیر پارامتریک گیاهی در کتابخانه محصول استفاده می‌شود، محتوای کتابخانه‌ی محصول یا مجموعه کتابخانه محصول زمانی قابل دسترس است که تحت نام‌های ذخیره شده؛ به آن‌ها مراجعه شود. به‌طور مشابه می‌توان اطلاعات مورد نیاز برای پارامتریک کردن یک افق خاک را با نام a soil horizon library (کتابخانه افق خاک) ذخیره و با همین نام به آن مراجعه نمود.

اگر بیش از یک شرح مدل فرایند به‌کار رود، انتخاب بین این اجراها در مقادیر پارامتری صورت می‌گیرد، علاوه بر این، تجزیه کننده مجاز می‌باشد که مقادیر پیش‌فرض پارامترهای مدل را تخصیص نماید. دلیل اعمال این قابلیت، این است که هر زمان که امکان‌پذیر باشد، مقادیر پارامترهای پیش‌فرض مدل تخصیص یابد. پارامتری که یک مقدار خاص برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود، نیاز نیست که در فایل ورودی ظاهر شود.

سیستم خروجی نیز بسیار قابل انعطاف بوده و به کاربر اجازه می‌دهد، خروجی‌های خود را تعریف نماید، این می‌تواند شامل موارد بسیار جزئی یا نتایج شبیه‌سازی بسیار بزرگ باشد. فایل‌های خروجی به آسانی توسط نرم‌افزارهای متداول برای فایل‌های متنی، قابل خواندن است.

بیلان آب در مدل، با بیلان آب در سطح و در خاک نیز سر وکار دارد. از این‌رو جو و آب زیرزمینی، مرزهای سیستم مورد نظر را تشکیل می‌دهند. جریان‌های مورد بررسی در سطح، بارندگی و آبیاری (به‌عنوان

1 Open software system

ورودی[1]) ، تبخیر–تعرق و رواناب سطحی خروجی (به‌عنوان تلفات[2]) هستند. جریان‌های مورد بررسی در مرز زیرین سیستم، نفوذ عمقی (به‌عنوان تلفات) و صعود کاپیلاری (به‌عنوان ورودی) در نظر گرفته می‌شود و اگر سیستم مذکور شامل زهکش مصنوعی باشد، جریان زهکش هم (به‌عنوان تلفات) در نظر گرفته می‌شود.

مدل‌سازی شار جریان سطحی به‌طور ویژه‌ای، پیچیده است، زیرا شامل تبادلات شار انرژی نیز می‌باشد. در مدل Daisy این مشکل با معرفی مفهوم تبخیر–تعرق پتانسیل (PET) رفع شد. تبخیر–تعرق پتانسیل (PET) به‌عنوان یک نیروی محرکه در مدل‌سازی تبخیر–تعرق عمل نموده، حد بالای تبخیر–تعرق را تشکیل می‌دهد. اگر جزئیات بیشتری از مدل سطحی لازم باشد، نیازمند یک مدل انتقال خاک–گیاه–اتمسفر بر اساس یک شبکه مقاومت است (Shuttleworth and Wallace, 1985; Shuttleworth and Gurney, 1990; Keur et al. 2000). مدل دوم نیاز به داده‌های آب‌وهوایی دقیق مانند، مقادیر ساعتی داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی آب‌وهوایی در منطقه مورد بررسی دارد.

۲-۲- تبخیر–تعرق پتانسیل

PET از راه‌های مختلفی به‌دست می‌آید: ۱) همراه با دیگر داده‌های آب‌وهوایی می‌توان آن را به مدل وارد نمود. ۲) بر اساس تبخیر–تعرق مرجع معادله پنمن–مونتیث[3] که در فائو (FAO, 1990) ارائه گردیده، به‌دست آورد. ۳) می‌توان توسط یک معادله تجربی ساده مانند معادله ماکینک (Makkink, 1957; Hansen, 1984) به‌دست آورد. تبخیر–تعرق پتانسیل بر اساس تبخیر–تعرق مرجع به‌صورت زیر برآورد می‌شود:

$$E_p = C_c E_r$$

که در آن، E_p تبخیر–تعرق پتانسیل، C_c عامل گیاهی (مقدار پیش‌فرض C_c=۱/۰) و E_r تبخیر–تعرق مرجع است.

فائو تبخیر–تعرق مرجع برای چمن کوتاه را از روش پنمن–مونتیث به‌صورت زیر برآورد می‌کند:

$$E_r = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho C_p (e_s - e_a)/r_a}{\lambda(\Delta + \gamma(1 + r_c/r_a))}$$

1 Gains
2 Losses
3 Penman Montheith

که در آن، R_a شار تابش خالص در سطح، G شار گرمایی خاک، ρ چگالی هوا، C_p گرمای خالص هوای مرطوب، (e_s-e_a) کمبود فشار بخار اشباع، r_c مقاومت تاج گیاه، r_a مقاومت آیرودینامیکی، Δ شیب منحنی فشار بخار، γ ثابت سایکرومتری و λ گرمای نهان تبخیر است.

محاسبه شار تابش خالص بر اساس بیلان تابشی است که شامل مدلی برای تبادل تابش حرارتی خالص می‌باشد:

$$R_n = (1-\alpha)S_i + f_c\left(\varepsilon_\gamma(\varepsilon_a - 1)\right)\sigma T_a^4$$

در این فرمول ، α آلبدو سطح یا ضریب انعکاس تاج (میانگین کلی برای چمن ۰/۲۳)، S_i تابش جهانی، f_c اصلاح کننده پوشش ابر، ε_a نشر[1] مؤثر از جو، ε_v نشر از پوشش گیاهی (۰/۹۹-۰/۹۴) و خاک (۰/۹۸-۰/۸ که مقدار پیش‌فرض ۰/۹۸)، σ ضریب استیفان-بولتزمن ($۴/۹۰\times10^{-۹}$ MJ $m^{-۲}$ $K^{-۴}$ $d^{-۱}$) و T_a میانگین دمای هوا است. f_c عامل ابری بودن[2] به این صورت برآورد می‌شود:

$$f_c = a_c\frac{S_i}{a_s S_e} + (1-a_c)$$

در آن، S_e تابش فرازمینی، a_c و a_s ثابت تجربی هستند (که در فائو (FAO, 1990) مقادیر a_c=۱/۳۶ و a_s=۰/۷۵ ارائه شده است). مقدار a_s=۰/۷۵ نشان می‌دهد که تابش از آسمان صاف (بی‌ابر) برابر با ۷۵درصد تابش فرازمینی است. نشر از جو (ε_a) را می‌توان به وسیله تعدادی از مدل‌های مختلف برآورد نمود؛ مانند برانت (Brunt, 1932)، برانتسائرت (Brutsaert, 1975)، سوئینِبانک (Swinebank, 1963)، آیدسو و جاکسون (Idso and Jackson, 1969) و ساترلند (Satterlund, 1979). مقدار پیش‌فرض آن در مدل Daisy بر اساس معادله برانت است.

$$\varepsilon_a = a_e + b_e\sqrt{e_a}$$

در این فرمول، مقادیر پارامترهای a_e=۰/۶۴ و b_e=۰/۱۴ ارائه شده است (FAO, 1990) که به‌عنوان مقدار پیش‌فرض تصویب شد.

مقاومت آیرودینامیکی برای پوشش گیاهی مرجع به این صورت برآورد می‌شود:

1 Emissivity
2 Cloudiness factor

$$r_a = \frac{208}{U_2}$$

که در آن، U_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری است. مقاومت تاج متناظر به‌صورت r_c=۷۰s/m فرض می‌شود (FAO, 1990).

تابش فرازمینی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$S_e = G_{SC} d_r (\omega_s \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \sin\omega_s)/\pi$$

که در آن، G_{sc} ثابت خورشیدی، d_r مربوط به فاصله زمین تا خورشید، δ زاویه میل خورشیدی، φ عرض جغرافیایی و ω_s زاویه ساعت غروب آفتاب است. فاصله زمین تا خورشید به این صورت محاسبه می‌شود:

$$d_r = 1 + 0.33 \cos\left(\frac{2\pi}{365} t\right)$$

در این فرمول ، t روز ژولیوسی یا تعداد روز از سال می‌باشد. زاویه ساعت غروب به‌صورت زیر برآورد می‌گردد

$$\omega_s = \arccos(-\tan\varphi \tan\delta)$$

و زاویه میل خورشیدی:

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} t - 1.39\right)$$

لازم به ذکر است که نسخه اجرا شده از تبخیر–تعرق مرجع فائو نیازمند داده‌های تابش جهانی، دمای هوا، رطوبت هوا و سرعت باد است.

حداقل مجموعه داده مورد نیاز برای تخمین تبخیر–تعرق پتانسیل عبارت از تابش جهانی و دمای هوا می‌باشد. بدین منظور معادله ماکینک برای محاسبه تبخیر–تعرق مرجع برای یک سطح از چمن کوتاه اعمال می‌شود (Hansen, 1984):

$$E_r = 0.7 \frac{\Delta}{\Delta+\gamma} \frac{S_i}{\lambda}$$

این مدل قادر به استفاده از داده‌های ساعتی و همچنین روزانه است. در صورت استفاده از داده‌های روزانه، تبخیر–تعرق پتانسیل مانند توزیع تشعشعات فرازمینی تقسیم بر روز می‌شود.

۲-۳- بیلان آب سطحی

هدف از بررسی بیلان آب سطحی:

- پیگیری آب در ذخیره تاج حائل[1]
- برآورد تبخیر از ذخیره تاج حائل
- محاسبه میزان بارش
- پیگیری غرقآب‌های سطحی
- برآورد تبخیر از ذخیره غرقآب‌های سطحی
- محاسبه رواناب سطحی
- برآورد تبخیر از خاک
- پیگیری آب ذخیره شده در توده برف
- محاسبه تبخیر/تصعید از توده برف
- محاسبه تراوش[2] از توده برف

ورودی‌ها در بیلان آب، بارندگی و آبیاری است. اولین گام تقسیم سهم بارندگی بین باران و برف می‌باشد:

$$P_s = \begin{cases} P & T_a \le T_1 \\ \frac{T_2 - T_a}{T_2 - T_1} P & T_1 < T_a < T_2 \\ 0 & T_2 \le T_a \end{cases}$$

$$P_r = P - P_s$$

که در آن، P مقدار بارندگی، P_s مقدار برف و P_r مقدار باران است. T_a دمای هوا و T_1 و T_2 ثابت‌های تجربی (مقادیر پیش‌فرض T_1= −۲ ℃ و T_2= ۲ ℃) می‌باشند. در صورت بارش برف یا وجود یک توده برف، مدل توده برف فعال می‌شود. اگر این مورد نباشد، گام بعدی فعال‌سازی مدل حائل است. تراوش از توده برف یا بارش، مسیر را به سمت مدل غرقابی سوق می‌دهد.

1 canopy interception storage
2 percolation out

این یک فرض اساسی است که 'آب آزاد'، یعنی آب ذخیره شده در برف، یا آب حائل یا غرقاب، قبل از اینکه تبخیر از سطح یا تعرق در محل رخ دهد، تبخیر می‌شود. فرض اساسی دیگر این است که ترکیب تبخیر–تعرق نمی‌تواند از تبخیر–تعرق پتانسیل تجاوز کند.

۲-۴- حائل[1]

قسمتی از بارندگی یا آبیاری تکمیلی برای گیاه (مثل آبیاری بارانی) که به بالاترین بخش گیاه می‌رسد، توسط تاج گیاه حائل گردیده و به‌عنوان یک ذخیره حائل عمل می‌کند. فرض می‌شود بارش مستقیم تابعی از شاخص سطح برگ است و به این صورت برآورد می‌شود:

$$J_{w.d} = P\exp(-K_I L_{ai})$$

که در آن، $J_{w,d}$ بارش مستقیم، P ترکیب بارندگی و آبیاری تکمیلی برای گیاه، K_I ضریب تجربی پخش و L_{ai} شاخص سطح برگ است. ممکن است، آب حائل توسط تاج گیاه، تبخیر، ذخیره و یا روی سطح به‌عنوان نشت (جاری شدن) از تاج جریان یابد. مقدار تبخیر–تعرق به‌صورت زیر برآورد می‌شود:

$$E_I = \mathrm{Min}\left\{\frac{S^t_{w.C}}{\Delta t} + P - J_{w.d}; E_{p.C}\right\}$$

که در آن E_I مقدار تبخیر از ذخیره حائل، $S_{w,C}$ مقدار آب حائل ذخیره شده، $E_{p,c}$ تبخیر–تعرق پتانسیل تاج و Δt گام‌های زمانی است. مقدار نشت (جاری شدن) از تاج به این صورت برآورد می‌شود:

$$J_{w.C} = \mathrm{Max}\left\{\frac{S_{c.C}}{\Delta t} - \left(\frac{S^t_{w.C}}{\Delta t} + P - J_{w.d} - E_I\right); 0\right\}$$

که در آن، $J_{w,C}$ جریان به سمت زمین به‌صورت نشت (جاری شدن) از تاج و $S_{c,C}$ ظرفیت ذخیره تاج است، فرض می‌شود متناسب است با:

$$S_{c.C} = C_i L_{a.i}$$

که در آن C_i ضریب ذخیره حائل (مقدار پیش‌فرض C_i=۰/۵۰ mm (Jensen, 1979)) می‌باشد. مقدار ذخیره تاج جدید به این صورت برآورد می‌شود:

$$S^{t+\Delta t}_{w.C} = S^t_{w.C} + (P - J_{w.d} - J_{w.C} - E_I)\Delta t$$

۲-۵- برف

مدل برآورد تجمع برف در مدل حاضر اساساً از جانسون و هالدین (Jansson and Haldin, 1980) اقتباس شده است. معادلات در مدل بر اساس بقای جرم بیان گردیده:

1 Interception

$$S_{s.S}^{t+\Delta t} = S_{s.S}^{t} + [P_s + P_r - E_s - J_{w.S}]\Delta t$$
$$S_{w.S}^{t+\Delta t} = S_{w.S}^{t} + [P_r + M - E_s^s - J_{w.S}]\Delta t$$

دراین فرمول، $S_{s,S}$ برف و آب ذخیره شده در برف، که به‌صورت آب معادل بیان می‌شود. $S_{w,S}$ میزان آب ذخیره شده در برف، E_s مجموع تبخیر و تصعید حاصل از ذخیره برف ($mm\ day^{-1}$)، E_s^s تبخیر از برف ذخیره شده، $J_{w,S}$ تراوش از ذخیره برف و M مقدار برف ذوب شده، علامت منفی نشان دهنده‌ی انجماد است.

تبخیر همراه با تصعید از برف ذخیره شده و تبخیر از برف ذخیره شده به‌صورت زیر برآورد می‌شود:

$$E_s = \begin{cases} E_P & E_s \le P + S_{w.S}^{t}/\Delta t \\ P + S_{w.S}^{t}/\Delta t & E_s > P + S_{w.S}^{t}/\Delta t \end{cases}$$

$$E_s = \begin{cases} E_P & E_s \le P_r + S_{w,S}^{t}/\Delta t \\ P_r + S_{w,S}^{t}/\Delta t & E_s > P_r + S_{w,S}^{t}/\Delta t \end{cases}$$

فرض می‌شود که مقدار پتانسیل ذوب شدن برف با ویژگی‌های برف، دمای هوا، تابش جهانی و شار حرارتی خاک در سطح تعیین می‌شود:

$$M^* = (m_t T_a + m_r S_i + q_h/L_m)f$$

M^* پتانسیل ذوب شدن برف، S_i تابش جهانی، q_h شار حرارتی خاک در سطح خاک، L_m گرمای ذوب، m_t و m_r پارامتر و f مقدار ثابت ($mm\ (H_2O)\ (kg\ (H_2O)\ m^{-2})^{-1}$ ۱) است.

تأثیر دما بر روی ذوب برف و انجماد در جزء پارامتر m_t به این صورت بیان می‌شود:

$$m_t = \begin{cases} m_t^* & T_a \ge 0 \\ m_t^* Min\left\{1; \left((\Delta Z_s + {}^{P}/_{\rho_P})m_f\right)^{-1}\right\} & T_a < 0 \end{cases}$$

که در آن، m_t^* یک عدد ثابت (مقدار پیش‌فرض m_t^*=۲/۰ $kg\ m^{-2}\ day^{-1}$ ℃)، m_f مقدار ثابت (مقدار پیش‌فرض m_f=۱۰ m^{-1})، ΔZ_s عمق توده برف قبلی و ρ_P چگالی بارش (مخلوط برف و باران) جدید رخ داده می‌باشند، که بر اساس میانگین وزنی چگالی آب (ρ_w=۱۰۰۰ $kg\ m^{-3}$) و چگالی پودر برف ($kg\ m^{-3}$ ρ_s=۱۰۰) برآورد می‌شود.

$$\rho_P = \rho_w + (\rho_s + \rho_w)\frac{P_s}{P}$$

اثر تابش جهانی بر ذوب و انجماد برف، در پارامتر m_t به این صورت بیان می‌شود:

$$m_r = m_r^*\left(1 + m + (1 - \exp(-m_2 \Delta t_s))\right)$$

که در آن، m_r^*، m_1، m_2 اعداد ثابت (مقادیر پیش‌فرض m_t^*=۱/۵×$^{-۷}$۱۰ kg J$^{-۱}$، m_1=۰/۱ day$^{-۱}$، m_2=۲/۰) و Δt_s سن برف سطحی (روزهای گذشته از آخرین بارش برف) می‌باشند.

مقدار واقعی ذوب برف و انجماد از روش زیر برآورد می‌شود:

$$M = \begin{cases} M_1 & M^* < M_1 \\ M^* & M_1 < M^* \leq M_2 \\ M_2 & M_2 < M^* \end{cases}$$

$$M_1 = -(S_{s.S}^t/\Delta t + P_r - E_s^s)$$

$$M_2 = \left((S_{s.S}^t - S_{w.S}^t)/\Delta t + P_s - (E_s - E_s^s)\right)$$

فرض شده است که برف ذخیره شده، دارای یک ظرفیت ویژه برای نگهداری آب مایع دارد که به این صورت بیان می‌شود:

$$S_{c.S} = f_c(S_{s.S}^t + (P - E_s)\Delta t)$$

که در آن، $S_{s,S}$ ظرفیت ذخیره‌سازیِ برف ذخیره شده برای نگهداری آب مایع و f_c ضریب ظرفیت برف ذخیره شده برای نگهداری آب مایع است. تراوش آب از برف ذخیره شده با فرمول زیر برآورد می‌شود:

$$J_{w.S} = \text{Max}\{0; S_{w.S}^t + (P_r + E_s + M)\Delta t - S_{c.S}\}/\Delta t$$

در نهایت، چگالی توده برف به‌صورت زیر برآورد می‌گردد. با در نظر گرفتن مقدار تراکم برف در طی بررسی‌ها، نحوه‌ی برآورد جدیدی برای محاسبه چگالی توده برف انجام شد:

$$P_{S.P}^{t+\Delta t} = \text{Max}\left\{\rho_{s.P}^t; \rho_s + \rho_1 \frac{S_{w.S}^{t+\Delta t}}{S_c} + \rho_2 S_{s.S}^t\right\}$$

که در آن، $\rho_{s,P}$ چگالی توده برف و ρ_1 و ρ_2 مقادیر ثابت هستند (مقادیر پیش‌فرض ρ_1=۲۰۰ kg m$^{-۳}$، ρ_2=۰/۵ m$^{-۱}$).

۲-۶- غرقاب

بارش، تراوش آب از توده برف، باران یا آبیاری به‌صورت مستقیم و رسیدن آن به سطح خاک ممکن است باعث انبار شدن بر روی سطح به‌صورت غرقاب شود. این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار ورودی بیش از مقدار تبخیر و نفوذ باشد. اگر حالت غرقابی رخ دهد، امکان دارد، رواناب سطحی ایجاد کند:

$$q_p = \text{Max}\{0; K_p(S_P - S_d)\}$$

که در آن، q_p رواناب سطحی، K_p ضریب رواناب، S_p غرقاب و S_d مقدار کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی سطحی[1] است. وقتی غرقاب رخ می‌دهد، نفوذ توسط مدلِ آبِ خاک شبیه‌سازی می‌شود. در تمام موارد دیگر، نفوذ به‌صورت نسبت آب تخصیص یافته به سطح محاسبه می‌شود.

۲-۷- تبخیر و تعرق از خاک

وقتی PET بیش از مقدار تبخیر از سطح آب آزاد در سطح خاک باشد، امکان تبخیر یا تعرق وجود دارد. فرض گردیده، تبخیر از سطح خاک به‌صورت انرژی صرف شده برای تبخیر و هم انتقال آب از زیر خاک به سطح خاک، تعریف می‌شود. انرژی که صرف تبخیر می‌گردد، به‌عنوان تابعی از تبخیر–تعرق پتانسیل (گرمای نهان) برآورد می‌شود:

$$E_{P.S} = E_P e^{-K_c L_{ai}}$$

که در آن، $E_{p,s}$ پتانسیل تبخیر از سطح خاک ، E_p تبخیر–تعرق پتانسیل، L_{ai} کل شاخص سطح برگ تاج و K_c ضریب انقراض[2] (مقدار پیش‌فرض K_c=۰/۰۴) است. در این صورت، تبخیر واقعی خاک بستگی به نسبتِ آبی از خاک، که بتواند به سطح خاک منتقل شود دارد:

$$E_s = \mathrm{Min}\{E_{P.S}; q_e\}$$

در این فرمول، E_s تبخیر خاک و q_e سرعت نفوذ پتانسیل است که توسط آبِ خاک برآورد می‌شود. تعرق پتانسیل به این صورت برآورد می‌شود:

$$E_{P,t} = (E_P - E_{P.S}) + \beta(E_{P.S} - E_S)$$

در آن، $E_{p,t}$ تعرق پتانسیل و β ضریب انتقال که امکان انتقال انرژی از یک سطح خشک خاک را به تاج میسر می‌کند (مقدار پیش‌فرض β=۰/۶). تعرق واقعی بر اساس میزان توانایی ریشه در استخراج آب از منطقه توسعه ریشه برآورد می‌شود.

۲-۸- مکانیک حرکت آبِ خاک

انتقال مواد شیمیایی در خاک به‌شدت بستگی به جریانِ آبِ خاک دارد. آبِ خاک همچنین به‌عنوان یک محیط واکنش برای بسیاری از فرایندهای کربن و نیتروژن در خاک است. چنین فرایندهای خاصی مانند انتقال میکروبی[3] کربن و نیتروژن در خاک به‌شدت متأثر از مقدار رطوبت است. علاوه بر این، جریانِ آبِ

1 surface depression storage capacity
2 extinction coefficient
3 Microbial transformation

خاک به سمت ریشه‌ها یک فرایند بااهمیت، برای هرچه بهترِ جذب آب به‌منظور انتقال مواد مغذی گیاه به سمت سطوح ریشه است.

هدف از مدلِ آبِ خاک برای شبیه‌سازی:

- جریان عمودی آب در منطقه غیراشباع
- جریان آب به سمت سطوح ریشه
- مقدار رطوبت ذخیره شده در منطقه غیراشباع
- پتانسیل فشاری آبِ خاک در منطقه غیراشباع

۲-۹- جریان عمودی آب، رطوبت خاک و پتانسیل فشاری در منطقه غیراشباع

این یک فرض اساسی است که جریان آب در منطقه غیراشباع می‌تواند به‌عنوان جریان دارسی در ماتریس خاک و یا به‌صورت جریان ثقلی در منافذ درشت، به‌صورت مجزا صورت گیرد. شکل‌های دیگر جریان ترجیحی، مانند جریان انگشتی[1] در نظر گرفته نشده است. از این رو، مدل، دو رژیم جریان را بررسی می‌کند؛ رژیم ماتریس و رژیم منافذ درشت. رژیم جریان توسط معادله ریچاردز به این صورت توصیف شده‌است (Richard, 1931):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z}\left[K\frac{\partial h}{\partial Z}\right] + \frac{\partial K}{\partial Z} - S$$

که در آن، θ رطوبت، h پتانسیل فشاری آبِ خاک، K هدایت هیدرولیکی خاک و S جزء نفوذ حجمی[2] است. برای حل معادله ریچاردز به اطلاعات مربوط به رابطه بین θ و h مانند ویژگی‌های آبِ خاک یا منحنی مشخصه و رابطه بین K و h مانند تابع هدایت هیدرولیکی نیاز است. چندین مدل برای این روابط در مقالات مطرح شده است. موارد زیر؛ منحنی مشخصه ون‌گنوختن (van Genuchten, 1980) در ترکیب با نظریه بوردین (Burdine, 1952) یا معلم (Mualem, 1976) برای هدایت هیدرولیکی، مدل بورکس و کوری (Brooks and Corey, 1964) و مدل کمپبل (Campbell, 1974) نیز در ترکیب با مدل‌های بوردین و معلم در مدل Daisy به‌کار رفته است. علاوه بر این، مدل بروکس و کوری اصلاح شده که توسط اسمیت (Smith, 1992) پیشنهاد گردیده، اجرا شد. به‌علاوه، می‌توان برای تعیین خصوصیات هیدرولیکی برای Daisy از فرم‌های جدولی که قابلیت استفاده از هر منحنی را شامل می‌شود، استفاده کرد. همچنین باید توجه داشت که طراحی کد Daisy به گونه‌ای است که اضافه کردن یک مدل هیدرولوژیکی جدید به Daisy نسبتاً آسان است.

1 Finger flow
2 Volumetric sink term

معادله ریچاردز به‌صورت عددی در فرمول‌بندی‌های ترکیب شده، قابل حل است (Celia and Bouloutas, 1990). شرایط مرزی بالایی توسط Daisy تعیین می‌شود (همان‌طور که در بالا توضیح داده شد). امکان دارد، توسط شرایط فشاری، در زمانی که غرقاب اتفاق می‌افتد یا شرایط فشاری در سایر موارد، تشکیل شود. مرز پایینی توسط کاربر انتخاب و شرایط زیر اجرا می‌شود: شرایط فشاری (با شناخت موقعیت آب‌های زیرزمینی)، جریان ثقلی (آب‌های زیرزمینی عمیق) و شرایط مرزی لایسیمتر. مورد خاصی از شرایط فشاری اجرا شده، شرایط زهکشی از لوله است (رجوع به پایین).

اگر حل معادله ریچاردز با تعدادی از تکرارهای از پیش تعیین شده، همگرا نشود، مدل هشدار اخطار می‌دهد و به یک مدل آب–خاک ساده شده اقتباس می‌کند (از مرتبه دوم در معادله ریچاردز چشم‌پوشی می‌کند).

جریان آبِ خاک با استفاده از معادله دارسی محاسبه می‌شود:

$$q = -K\left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1\right)$$

که در آن، q جریان دارسی است.

امکان این که جریان، در منافذ بزرگ در سطح و یا هر جایی که نیم‌رخ خاک باشد، خلل‌وفرج بزرگ ایجاد نماید، وجود دارد. جریان منافذ بزرگ زمانی ایجاد می‌شود که از یک پتانسیل فشاری معینی فراتر رود. در اصل پتانسیل فشاری باید صفر باشد. با این حال، به‌دلیل ناپایداری عددی، اغلب یک پتانسیل منفی کوچک انتخاب می‌شود. مقدار پیش‌فرض پتانسیل منفی انتخابی توسط مدل بر اساس نصف اندازه لایه عددی مورد بررسی است. طی جریان منافذ بزرگ، از تبادل بین ماتریس خاک و منافذ بزرگ، چشم‌پوشی می‌شود. آب فقط از انتهای منافذ بزرگ وارد ماتریس خاک می‌گردد. در مدل سیستم منافذ بزرگ به‌صورت عمق مشخص و از جایی که خلل‌وفرج بزرگ وجود دارد، شروع و تا جایی که تمام می‌شود، گسترش می‌یابد.

اگر منافذ بزرگ تا سطح امتداد داشته باشد، جریان آن‌ها زمانی که غرقاب رخ دهد، ایجاد می‌شود. آب در رژیم منافذ درشت و رژیم ماتریس مبادله شده و به‌صورت جزء S در معادله ریچاردز ارائه شده است.

وقتی خاک شروع به یخ زدن می‌کند، یخ تشکیل می‌شود. فرض می‌شود، شکل‌گیری یخ در منافذ درشت خاک باعث حرکت آب از منافذ کوچک به منافذ بزرگ می‌شود. این امر یک کاهش فشاری در خاک منجمد به وجود می‌آورد، که اغلب باعث حرکت دوباره آب از مناطق زیرین به منطقه یخ‌زده می‌شود. در ترکیب با این واقعیت که آب در هنگام یخ‌زدن منبسط می‌شود، منجر به کاهش محتوای هوای خاک می‌شود.

مادامی که هوا در خاک وجود داشته باشد، فرض می‌شود پتانسیل فشاری هم می‌تواند با بهره‌گیری از ویژگی رطوبتی در محتوای آب مایع خاک وجود داشته باشد و برعکس.

۲-۱۰- شدت برداشت پتانسیل[1]

میزان آب خاکی که می‌تواند به سطح منتقل شود به این صورت قابل برآورد است:

$$q_e = -\frac{K}{C_\theta}\left[\frac{\partial\theta}{\partial Z}\right]_{Z=0}$$

q_e شدت برداشت پتانسیل یا جریان حجمی دارسی به سمت سطح خاک و $C_\theta(=d\theta/dh)$ ظرفیت ویژه آب است، گرادیان $\partial\theta/\partial Z$ با فرض اینکه در $Z=0$، مقدار $\theta=0$ است، برآورد می‌شود.

۲-۱۱- استخراج آبِ خاک توسط ریشه‌ها

محاسبه استخراج آبِ خاک توسط ریشه‌های گیاه بر فرضیات زیر استوار است:

۱) ریشه، آب را از یک حجم استوانه‌ای خاک اطرافش استخراج کرده و شعاع این حجم مطابق با نصف میانگین فاصله بین ریشه‌ها است. ۲) جریان به سمت ریشه، شعاعی است و با استفاده از رابطه دارسی می‌تواند توصیف شود. ۳) پتانسیل فشار در مرزهای خارجی استوانه‌ی خاک مورد بررسی، برابر با پتانسیل فشار ظاهری است که از حل معادله ریچاردز به‌دست می‌آید. ۴) کاهش پتانسیل در سطح ریشه را می‌توان با استفاده از یک سری از نیم‌رخ‌های حالت پایدار تقریب زد. ۵) گیاه پتانسیل فشاری در سطح ریشه را تعیین می‌نماید، با این حال، این پتانسیل توسط نقطه پژمردگی دائم محدود می‌شود. ۶) در سطح ریشه، یک مقاومت تماس وجود دارد که بر اساس رابطه هِرکِلات و همکاران (Herkelrath et al., 1977) تعیین می‌شود. این فرضیات منجر به عبارت زیر می‌شود:

$$S_r = 4\pi L\frac{\theta_r}{\theta_s}\frac{M(h)-M(h_r)}{-\ln(r_r^2\pi L)}$$

که در آن، S_r جزء نفوذ حجمی (جذب آب توسط ریشه‌ها)، L چگالی ریشه، θ_r رطوبت خاک در h_r، θ_s رطوبت خاک در حالت اشباع، h_r پتانسیل فشاری آبِ خاک در سطح ریشه، r_r شعاع ریشه و M پتانسیل جریان ماتریس، که تابعی از پتانسیل فشاری است:

1 Potential exfiltration rate

$$M(h_p) = \int_{-\infty}^{h_p} Kdh$$

در طول شبیه‌سازی L، r_r، h و به‌دنبال آن M(h) معلوم است، در حالی که S_r، h_r و به‌دنبال آن θ_r و $M(h_r)$ نامعلوم است. دو شرایط مختلف می‌تواند رخ دهد:

- تعرق در شدت پتانسیل
- تعرق در شرایط کمتر از شدت پتانسیل

شرط اول، شرایط آب‌وهوایی است که میزان جذب آب توسط گیاه را تعیین می‌کند. در این شرایط، فرض می‌شود که یک پتانسیل فشاری نامعلوم به‌منظور انتقال ریشه و ساقه (ψ_x) وجود دارد. بر اساس این پتانسیل فشاری، ψ_x، پتانسیل فشاری در سطح ریشه برآورد می‌شود:

$$h_r = \psi_x + R_x Z$$

که در آن، R_x ضریب مقاومت انتقال است. عملکرد این ضریب آن است که مقدار پتانسیل فشاری ψ_x را با تکرار بیابد، شرایط زیر اعمال می‌گردد:

$$E_t = \int_0^{Z_r} S_r dZ$$

که در آن، $E_t=E_{P,t}$ تعرق از گیاه و Z_r عمق ریشه است.

در شرط دوم فرض انتقال آب از توده خاک به سمت سطح ریشه است که به‌عنوان جذب آب[1] تعریف می‌شود. در این شرط فرض است که پتانسیل فشاری متداولی در طول ریشه (h_r) وجود دارد. مقدار h_r را می‌توان برابر با پتانسیل فشاری در نقطه پژمردگی در نظر گرفت.

۲-۱۲- لوله‌های زهکشی

در صورت وجود لوله‌های زهکشی، فرض می‌شود یک منطقه محدودکننده آبخوان[2] در زیر لوله‌های زهکش وجود دارد و نفوذ عمقی به سمت آبخوان را می‌توان به این صورت محاسبه نمود:

$$q_a = K_a \frac{H_p - H_a}{\Delta Z_a}$$

1 Water uptake

2 Aquitard: منطقه‌ای درون زمین که جریان آب‌های زیرزمینی از یک منطقه به منطقه دیگر را محدود می‌کند و گاهی و شامل لایه‌های رس و سنگ‌های غیر (https://en.wikipedia.org/wiki/**Aquifer**) اوقات کاملا نفوذناپذیر است متخلخل با هدایت هیدرولیکی پایین است.

که در آن، q_a نفوذ به سمت منطقه محدودکننده آبخوان‌ها، K_a هدایت هیدرولیکی و ΔZ_a اندازه منطقه محدودکننده آبخوان‌ها، H_a پتانسیل فشار در سفره زیر آبخوان است که در انتقال بین آبخوان و لایه محدودکننده اندازه‌گیری می‌شود و H_p ارتفاع سطح آب زیرزمینی بالای آبخوان است.

وقتی که سطح ایستابی بالای لوله‌های زهکش باشد، فرض می‌شود که جریان زهکش با استفاده از معادله هوخهات[1] برآورد می‌گردد:

$$q_e = \frac{4K_1H^2+2K_2Hd}{L\Delta x-\Delta x^2}$$

که در آن، q_e جریان زهکش معادل، K_1 هدایت هیدرولیکی در خاک اشباع بالای عمق زهکشی، K_2 هدایت هیدرولیکی بین عمق زهکش و لایه محدود کننده آبخوان‌ها، d فاصله عمودی بین لوله‌های زهکشی و لایه‌ی محدود کننده آبخوان‌ها، L فاصله افقی بین زهکش‌های لوله‌ای، Δx فاصله افقی از لوله زهکش، و H فاصله افقی بین زهکش‌های لوله‌ای و سطح ایستابی است. K_1 از طریق میانگین وزنی هدایت هیدرولیکی افق‌های خاک اشباع در بالای زهکشی برآورد می‌شود. عامل وزن بر اساس ضخامت لایه‌های مذکور در نظر گرفته می‌شود. K_2 افق‌های خاک زیر زهکش است، از روشی مشابه محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است این مورد تنها برای شرایط پایدار معتبر می‌باشد. از این‌رو، مدل لوله‌های زهکشی تقریباً به‌صورت مجموعه‌ای از شرایط پایدار فرض می‌شود.

اگر نفوذ از منطقه اشباع، q_z، بیش از شار جریان ترکیبی، q_a+q_e باشد، در این صورت، فرض می‌شود سطح ایستابی صعود کرده است و موقعیت جدید سطح ایستابی محاسبه می‌شود. در غیر این‌صورت سطح ایستابی افت نموده و در این مورد نیز موقعیت جدید سطح ایستابی اصلاح می‌شود.

جریان به سمت لوله‌ها در گام‌های زمانی برابر با جریان زهکش، معادل در نظر گرفته می‌شود. جریان به سمت زهکش‌ها درون لایه خاک توسط نفوذ حجمی به درون لایه شبیه‌سازی می‌شود:

$$S_d = \frac{q_e}{\Delta Z}\left[\frac{K\,\Delta z}{\sum K\Delta Z}\right]$$

که در آن، S_d جزء نفوذ از لایه خاک مورد بررسی، ΔZ و K به ترتیب ضخامت و هدایت هیدرولیکی لایه مربوطه است و $\Sigma K\Delta Z$ مجموع ضرب هدایت هیدرولیکی در ضخامت لایه‌های مورد بررسی است.

۲-۱۳- بیلان گرمای خاک

دمای خاک، اولین عامل مهم در بسیاری از فرایندهای مربوط به تبدیل و انتقال مواد در سیستم خاک–گیاه–اتمسفر است. به طور ویژه، دما به شدت بر فرایندهای بیولوژیکی مانند رشد ریشه و انتقال میکروبی

1 Hooghoudt

کربن و نیتروژن در خاک مؤثر است. از این‌رو، هدف از مدل گرمایی این است که دمای خاک برای توابع غیربیولوژیکی[1] حاکم بر فرایندهای بیولوژیکی به‌عنوان یک زیرمدل[2] برای Daisy تأمین شود.

در حال حاضر، مدل دمای خاک، بر اساس یک معادله جریان گرمایی یک بعدی می‌باشد و به‌دلیل رسانش[3] و همرفت[4]، جریان گرمایی به حساب می‌آید. علاوه بر این، یک معادله گرمایی گسترش یافته است که شامل شرایط یخزدگی[5] و همچنین آب شدن[6] می‌باشد. پارامترهای حرارتی خاک بر اساس ترکیب خاک و ویژگی‌های منحصر به فرد اجزای خاک محاسبه می‌شود. در این روش، فرض بر این است که هر واحدکوچک سلول خاک شامل یک نمونه نماینده از اجزای خاک است.

معادلات جریان گرمایی

بقای گرما، به‌دلیل عمل انجماد و ذوب شامل فاز تغییر است، در نتیجه:

$$\frac{\partial(C_s T)}{\partial t} - L_f \rho_i \frac{\partial x_i}{\partial t} = -\frac{\partial q_h}{\partial z} - S_h$$

که در آن، C_s ظرفیت حجمی گرمای خاک، T دمای خاک، L_f گرمای نهان ذوب، ρ_i چگالی یخ، x_i محتوای حجمی یخ، q_h چگالی شار گرمایی و S_h نفوذ گرمایی[7] (زمانی که ریشه گیاه آب را استخراج می‌کند، حرارت نیز از سیستم خارج می‌شود).

ترکیب یک بعدی انتقال گرمایی به‌دلیل رسانش و همرفت:

$$q_h = -K_h \frac{\partial T}{\partial z} + C_w \rho_w T_q$$

که در آن، K_h هدایت گرمایی خاک، C_w و ρ_w به ترتیب ظرفیت گرمایی ویژه و چگالی آب و q چگالی جریان آب می‌باشند. ترکیب معادله بقای گرما و انتقال گرما، معادله بقای آب را ارائه می‌دهد و فرض می‌شود $S_h=C_w\rho_w S_r T$ که در آن، S_r جذب حجمی آب توسط ریشه بوده و منجر به معادله زیر می‌شود:

$$C_s \frac{\partial T}{\partial t} - [L_f + (C_w - C_i)T]\rho_i \frac{\partial x_i}{\partial t} = K_h \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \left[\frac{\partial k_h}{\partial z} - C_w \rho_w q\right]\frac{\partial T}{\partial z}$$

لازم به ذکر است که انتقال گرما در منافذ درشت، قابل چشم‌پوشی است. وقتی انجماد یا ذوب اتفاق می‌افتد، در دمای زیر نقطه انجماد نرمالِ حجم آب، مقداری آبِ خاک در موازنه با یخ وجود دارد. این امر

1 Abiotic
2 Submodel
3 conduction
4 convection
5 Frost
6 Thaw
7 Heat sink

به‌دلیل اثر نیروی‌های کاپیلاری و اسمزی است. فرض می‌شود، کاهش نقطه انجماد در خاک را می‌توان بر اساس رابطه‌ی ارائه شده توسط میلر (Miller, 1980)، بیان نمود:

$$T = 273\frac{\frac{\psi-\pi}{\rho_w} - \frac{P_i}{\rho_i}}{L_f}$$

که در آن، ψ پتانسیل فشاری آبِ خاک ($\psi=gh$ که در آن g شتاب گرانش است). π پتانسیل اسمزی و P_i فشار یخ است. در طی انجماد، کاهش نقطه انجماد اغلب توسط اثر نیروی کاپیلاری ایجاد گردیده و از این‌رو، تمام اثرات دیگر نادیده گرفته می‌شود. بر اساس این فرضیات و فرض این که، در خاک در حال انجماد یا ذوب S_r=۰ است، شدت انجماد را می‌توان به این صورت به‌دست آورد:

$$\frac{\partial x_i}{\partial t} = \frac{\rho_w}{\rho_i}\left[-\frac{\rho_w L_m C_\theta}{273g}\frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\partial q}{\partial Z}\right]$$

که در آن، $C_\theta(=d\theta/dh)$ ظرفیت ویژه آب درون خاک است. چون $L_f \gg (C_w - C_i)T$، بنابراین رابطه به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\left[C_s + \alpha\frac{\rho_w^2 L_f^2 C_\theta}{273g}\right]\frac{\partial T}{\partial t} = K_h\frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} + \left[\frac{\partial K_h}{\partial Z} - C_w\rho_w q\right]\frac{\partial T}{\partial Z} - \alpha\rho_i L_f\frac{\partial q}{\partial Z}$$

در این فرمول، درصورت انجماد یا ذوب α=۱ و در غیر این صورت، α=۰ است. لازم به ذکر است، از دیدگاه ریاضی، تنها تفاوت بین انجماد یا ذوب و موردی که هیچ تغییر فازی رخ ندهد، این است که مستقل از دمای خاک بوده و وقتی که تغییر فاز رخ دهد، ظرفیت گرمایی بسیار بزرگی ظاهر می‌شود.

۲-۱۴- شرایط مرزی

فرض می‌شود دمای سطح خاک شرایط مرزی بالایی را تشکیل می‌دهد. به جز زمانی که برف روی سطح خاک را پوشانده باشد، درجه حرارت سطح خاک توسط دمای هوا تقریب زده می‌شود. اگر به‌دلیل آبیاری، نفوذ رخ دهد، فرض می‌شود که آب نفوذ یافته، دمای آب آبیاری را خواهد داشت.

درصورت وجود برف که شامل آب مایع باشد، فرض می‌شود که دمای سطح صفر درجه است. اگر برف وجود داشته باشد و شامل آب مایع نباشد آنگاه دمای سطح (دما در زیر برف)، با فرض شرایط پایدار جریان گرمایی در کل سطح پوشش برف و در کل سطح بالایی خاک محاسبه می‌شود، که:

$$T_{sf} = \frac{(K_{h1}/Z_1)T_1 + (K_s/\Delta Z_s)T_a}{K_{h1}/Z_1 + K_s/\Delta Z_s}$$

در آن T_{sf}، دمای سطح، T_a دمای هوا و T_1 دمای خاک در Z_1، Z_1 عمق خاک، ΔZ_s عمق پوشش برف، K_{h1} هدایت گرمایی خاک و K_s هدایت گرمایی برف است که از طریق محصولات مهندسین (Crop of Engineer, 1956) به این صورت برآورد می‌شود:

$$K_s = \alpha_h \rho_s^2$$

که در آن، α_h پارامتر تجربی (α_h=۲/۸۶×۱۰$^{-۶}$)، ρ_s چگالی توده برف است. شرایط مرزی پایینی با استفاده از حل تحلیلی معادله هدایت گرمایی شناخته شده به‌دست می‌آید:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{K_h}{C_s}\frac{\partial T^2}{\partial Z^2}$$

لازم به ذکر است که معادله حاصل با چشم‌پوشی از انتقال گرما از طریق همرفت و ثابت فرض شدن C_s و K_h به‌دست می‌آید. این معادله را به‌صورت تحلیلی با شرایط مرزی می‌توان حل نمود که به این صورت ارائه می‌شود:

$$T(t.0) = T_{av} + A_t \cos\big(\omega(t - t_0)\big)$$
$$T(t.\infty) = T_{av}$$

که در آن T_{av}، میانگین دمای هوای سالیانه در موقعیت مورد بررسی، A_t دامنه ثبت شده از تغییرات سالیانه در دمای هوا، ω بسامد زاویه‌ای ([$day^{-۱}$] ۲π/۳۶۵)، t تعداد روز از سال (روز ژولیوسی) و t_0 عدد روز یا روز ژولیوسی که در آن دمای هوا، بیشینه است. ($T(t,0)= T_{av}+A_t$). بنابراین به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$T(t,z) = T_{av} + A_l e^{-z/d}\cos(\omega(t - t_0) - z/d)$$
$$d = \left[\frac{2K_h}{\omega C_s}\right]^{\frac{1}{2}}$$

که در آن d به اصطلاح عمق میرایی[۱] و z عمق مکانی که دمای آن مورد بررسی قرار می‌گیرد، می‌باشد به‌طور مثال عمق مرز زیرین. قابل ذکر است به‌دلیل حرکت رو به پایین نیم‌رخ خاک مورد بررسی، عدم قطعیت تعیین شده توسط شرایط مرزی پایینی، کاهش می‌یابد.

۲-۱۵- حل عددی

روش اجزای محدود تصویب شده برای تقریب عددی معادله جریان گرما، در زمان و مکان بر پایه روش کرنک-نیکلسون[۲] متمرکز شده است.

---

۱ Damping depth عمقی از خاک را که در آن، تغییرات دمایی وجود نداشته باشد و یا دامنه تغییرات آن بسیار ناچیز باشد، عمق میرایی می‌نامند (جعفرپور، ۱. ۱۳۷۷. اقلیم‌شناسی. چاپ چهارم. دانشگاه تهران)

2 Crank-Nicolson

۲-۱۶- ظرفیت گرمایی خاک

ظرفیت گرمایی حجم یک جزء واحد خاک را می‌توان با جمع نمودن اجزای مختلف ظرفیت گرمایی خاک به‌دست آورد:

$$C_s = x_m \rho_m c_m + x_o \rho_o c_o + x_w \rho_w c_w + x_i \rho_i c_i$$

که در آن C_s ظرفیت گرمایی حجمی، C ظرفیت گرمایی ویژه، ρ چگالی و x کسری از حجم است. زیرنویس‌های m، o، w، i به ترتیب بیان‌کننده ذرات معدنی، ذرات آلی، آب مایع و یخ است. بیشتر ذرات خاک چگالی و گرمای ویژه مشابه دارند (de Vries, 1963)، بنابراین ترکیب مواد معدنی مختلف با هم در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است، از سهم هوای خاک به‌دلیل ناچیز بودن، چشم‌پوشی شده است. چگالی و ظرفیت گرمایی ویژه ترکیبات مختلف خاک در جدول (۱) آورده شده است.

۲-۱۷- هدایت گرمایی خاک

با توجه به جدول ۱-۲ هدایت گرمایی ترکیبات مختلف خاک ، به نظر می‌رسد که اختلاف زیادی در هدایت گرمایی وجود دارد. هدایت گرمایی یک خاک بستگی به ترکیباتش دارد، مانند بخش‌هایی از اجزای مختلف آن، اما این وابستگی بسیار پیچیده است. در خشکی کامل، جریان گرمایی عمدتاً از درون بذرها عبور و در نقاط تماس اطراف بذرها، درون درزهایی که هوا وجود دارد، اتصال می‌یابد. درصورتی‌که وجود آب شروع به پر کردن این شکاف‌ها می‌نماید. به‌دلیل تفاوت زیاد هدایت گرمایی بین هوا و آب، هدایت گرمایی خاک به‌شدت تحت تأثیر محتوای آب درون خاک قرار می‌گیرد، که در شرایط خشکی نسبی شکاف‌ها شکل می‌گیرد.

جدول ۲-۱ چگالی (ρ) ظرفیت گرمایی ویژه (C)، هدایت حرارتی (K)، ترکیبات مختلف خاک، آب‌وهوا در دمای ۱۰°C (de Vries, 1963).

ترکیبات خاک	ρ Kg m^{-3}	C J kg^{-1} EC	K W m^{-1} EC
کوارتز	۲۶۶۰	۷۵۰	۸/۸
مواد معدنی خاک رس	۲۶۵۰	۷۵۰	۲/۹
مواد آلی	۱۳۰۰	۱۹۲۰	۰/۲۵
آب	۱۰۰۰	۴۱۹۲	۰/۵۷
یخ	۹۲۰	۲۰۵۰	۲/۲۰
هوا	۱/۲۵	۱۰۰۵	۰/۰۲۵

دِ وریز (De Vries, 1952, 1963) برای محاسبه هدایت گرمایی خاک یک مدل با مبنای فیزیکی بر اساس ترکیبات خاک توسعه داده است. این مدل بر اساس یک تشابه با مسائل فیزیکی، بیان‌کننده هدایت الکتریکی یا ثابت دی‌الکتریکی یک ماده دانه‌دانه[1] است که به‌عنوان تابعی از درصد حجمی و ویژگی‌های فیزیکی ترکیبات آن است. این مسئله تشابه به‌صورت ریاضی توسط برگر (Burger, 1919) حل شد. فرض اساسی این است، ذرات خاک می‌توانند به‌عنوان دانه‌های پراکنده در یک محیط پیوسته بررسی شوند.

در خاک‌های مرطوب، آب می‌تواند به‌عنوان محیطی پیوسته که در آن ذرات خاک و حفره‌های هوا پراکنده‌اند، بررسی شود. دِ وریز(De Vries, 1963) بیان نمود "در خاک‌های مرطوب، آب را می‌توان به‌عنوان محیطی پیوسته در نظر گرفت که در آن، ذرات خاک و حفره‌های هوا پراکنده‌اند، محتوای رطوبتی از اشباع تا زیر ظرفیت زراعی رده‌بندی می‌شود." از این‌رو، آب در حداقل رطوبت خاک مطابق با نصف مقدار بین ظرفیت زراعی (pF=۲/۰) و نقطه پژمردگی (pF=۴/۲)، به‌عنوان یک محیط پیوسته استفاده می‌شود. در خاک خشک، با حداکثر میزان رطوبت خاک تا pF=۴/۲ هوا به‌عنوان یک محیط پیوسته بررسی می‌شود. در منطقه‌ای که رطوبت بینِ نصف مقدار ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی تا نقطه پژمردگی باشد، هدایت گرمایی در پیوست ارائه شده است.

طی نظریه‌ای فرض گردید، شکل ذرات خاک را می‌توان توسط عاملی به اصطلاح عامل شکل α تعریف نمود. برای ذرات کروی α=۱، برای شکل کروی پهن شده[2] α <۱، برای کروی کشیده شده

1 - granular
2- oblate spheroid

(دوک‌وار)[1] $\alpha > 1$ و در نهایت برای ذرات مسطح صاف با ضخامت کم، لایه‌ای[2] $\alpha \to \infty$ است. برای ذرات خاک جامد، مدل کروی اغلب مقدار α را حدود ۴ می‌توان در نظر گرفت (de Vries, 1963).

نظریه de Vries بیان می‌کند که هدایت گرمایی از این طریق محاسبه می‌شود:

$$K_h = \frac{x_0 K_0 + \sum_{i=1}^{N} f_i x_i K_i}{x_0 + \sum_{i=1}^{N} f_i x_i}$$

$$f_i = \sum_{i=1}^{3} \left[1 + \left(\frac{K_i}{K_0} - 1\right) g_j(\alpha)\right]^{-1}$$

برای کروی‌ها به‌طور معمول روابط $g_1(\alpha)=g_2(\alpha)$ و $g_3(\alpha)=1-2g_1(\alpha)$ و برای ذرات کروی ($\alpha=1$)، رابطه $g_1(\alpha)=g_2(\alpha)=g3(\alpha)=1/3$ معتبر می‌باشند. برای کروی‌های پهن شده ($\alpha < 1$)، $g_1(\alpha)$ این‌طور محاسبه می‌شود:

$$g_1(\alpha) = \frac{1}{2}\frac{\alpha^2}{1-\alpha^2}\left[\frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{2\sqrt{1-\alpha^2}} \ln\left(\frac{1-\sqrt{1-\alpha^2}}{1+\sqrt{1+\alpha^2}}\right)\right]$$

در مورد کروی کشیده ($\alpha > 1$):

$$g_1(\alpha) = \frac{1}{2}\frac{\alpha^2}{\alpha^2-1}\left[-\frac{1}{\alpha^2} + \frac{\pi}{2\sqrt{\alpha^2-1}} - \frac{\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\alpha^2-1}\right)}{\sqrt{\alpha^2-1}}\right]$$

در بسیاری از خاک‌ها، انتقال گرما نه تنها در فضای حفره‌ای مملو از هوا، به‌عنوان هدایت گرمایی، صورت می‌گیرد بلکه توسط گرمای نهان نیز رخ می‌دهد، مانند انتقال گرما توسط انتشار بخارآب در هوای درون خاک. انتقال انرژی به‌عنوان گرمای نهان به‌شدت به دمای خاک بستگی دارد. در صفر درجه سانتی‌گراد، انتقال گرما توسط رسانایی در هوا و انتشار بخار به یک نسبت صورت می‌گیرد. تأثیر بر انتقال گرما با جایگزین کردن هدایت گرمایی هوا توسط هدایت ظاهری به‌عنوان گرمای نهان در نظر گرفته می‌شود:

$$K_a^* = K_a + K_v$$

که در آن K^*_a هدایت گرمایی ظاهری هوای خاک، K_a هدایت گرمایی هوای خاک و K_v هدایت گرمایی ناشی از انتقال بخار است. در میزان رطوبتیِ زیر نقطه پژمردگی، مایع توسط نیروی جذب سطحی[3]

1 prolate spheroid
2 lamellae
3 adsorption forces

نگه داشته می‌شود و رطوبت نسبی به مقدار خیلی کوچک‌تر از یک می‌رسد. سپس انتقال گرما توسط بخارِ آب محدود می‌شود. فرض بر این است که هدایت گرمایی ناشی از انتشار بخار را می‌توان به این صورت برآورد نمود:

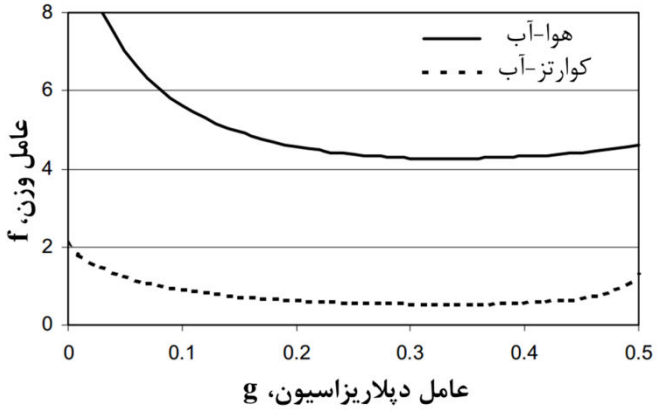
$$K_v = \begin{cases} K_v^s \, \theta/\theta_{wp} & \theta < \theta_{wp} \\ K_v^s & \theta \geq \theta_{wp} \end{cases}$$

که در آن K_v هدایت گرمایی ناشی از انتشار بخار در شرایط زیر اشباع، θ رطوبت حجمی خاک (=x_w)، θ_{wp} رطوبت حجمی در pF=۴/۲. برای K^s_v مقدار ۰/۰۴ $Wm^{-1}C^{-1}$ اتخاذ شد. با توجه به تحقیق دِ وریز (De Vries, 1963) این یک مقدار مناسب در دمای ۱۰°c است.

وقتی خاک در مجاورت آب باشد، هوای خاک اشباع به‌صورت حفره‌های کروی، شکل می‌گیرند. اثر عامل شکل (g) بر روی پارامتر (f) در شکل ۲-۲ نشان داده شده است، حداقل نفوذ، زمانی رخ می‌دهد که $g_1=g_2=g_3=1/3$ باشد. وقتی رطوبت خاک کاهش می‌یابد، هوا جایگزین آب و متعاقباً مقدار f افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۲-۲ نیز ملاحظه می‌شود، این امر ممکن است با کاهش مقدار g_1 رخ دهد. فرض بر این است که مقادیر g مقادیری را در نظر می‌گیرند که مربوط به یک کروی مایل با مقدار α از مرتبه ۱۰ ($g_1 = 0.07$) در محتوای آب خاک است که مربوط به $pF = 4.2$ است. با فرض یک رابطه خطی بین g_1 و محتوای هوا در ناحیه محتوای آب بین شرایط اشباع و pF 4.2 معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$g_1 = 0.333 - (0.333 - 0.070)\frac{\theta_s - \theta}{\theta_s - \theta_{wp}}$$

که در آن θ_s مقدار رطوبت اشباع است. علاوه بر این فرض می‌شود که $g_1=g_2$ و در پی آن، $2g_1(\alpha)-1 = g_2(\alpha)$ است. لازم به ذکر است این رابطه تنها برای حداقل مقدار رطوبتی مطابق با نصف مقدار بین ظرفیت زراعی (pF=۲) تا نقطه پژمردگی (pF=۴/۲) قابل استفاده است.



شکل ۲-۲ روابط بین پارامتر f عامل وزنو g_1 عامل شکل به‌ترتیب برای سیستمی که آب به‌عنوان محیط پیوسته و سیستمی که هوا و گرانول کوارتز به‌عنوان مواد پراکنده شده در آن می‌باشند، به‌کار می‌روند.

در شرایط خشک که هوا را می‌توان به عنوان محیط پیوسته در نظر گرفت، آب موجود، لایه نازکی را تشکیل می‌دهد که ذرات خاک را می‌پوشاند و حلقه‌های آب کوچکی را در اطراف نقاط تماس ذرات تشکیل می‌دهد و به نوعی پل‌هایی برای جریان گرما ایجاد می‌کند. فرض می‌شود آب، بیشترین سهم را در انتقال گرما دارد. این امر با در نظر گرفتن g_1=۱ و$g_2=g_3$=۰ که در تطابق با ذرات مسطح با ضخامت کم است، به‌دست می‌آید.

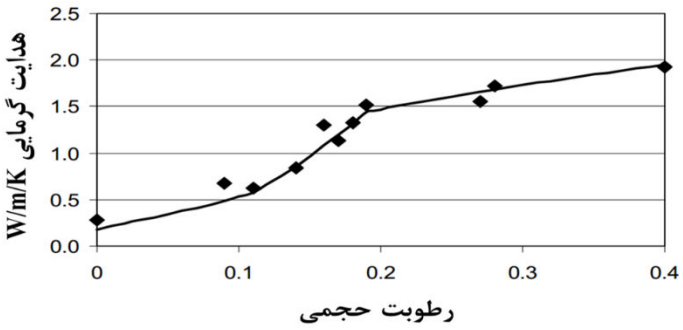
در خاک یخ‌زده زمانی که رطوبت کمتر از در pF=۲ است، هدایت گرمایی مانند شرایط بدون یخ‌زدگی[1] در نظر گرفته می‌شود. در رطوبت‌های بالاتر محاسبات به‌صورت فاقد یخ‌زدگی انجام می‌گردد، اما در این حالت، ویژگی‌های حرارتی آب، جایگزین ویژگی‌های حرارتی یخ می‌شود. در وضعیت یخ‌زدگی، به‌جای آب مایع، یخ باعث اتصال بین ذرات جامد خاک می‌شود.

دِ وریز (de Vries, 1952,1963) مدل را با نتایج خوبی آزمایش نموده و نتیجه‌ی حاصل این بود در بسیاری موارد، صحت برآورد بهتر از ده درصد بود. کیمبال و همکاران (Kimball et al., 1976) از تئوری دِ وریز در محاسبه شار گرمایی خاک در مزرعه‌ی لومی آوندال در آریزونا[2] استفاده کردند. آن‌ها

1 Unfrozen
2 a field of Avondal loam in Arizona

مقادیر محاسبه شده را با مقادیر تجربی مقایسه نمودند و نتیجه گرفتند که "بین شارهای اندازه‌گیری و محاسبه شده تنها پس از اصلاح نمودار عامل شکل هوا و نادیده گرفتن انتقال حرارت ناشی از حرکت بخار آب، همبستگی نسبتاً خوبی به‌دست آمد". کیمبال و همکاران (Kimball et al., 1976) تغییرات K_{vs} نسبت به دما را به‌دست آوردند. آن‌ها آب را به‌عنوان یک محیط پیوسته، در کل محدوده از خاک خشک‌شده در آون تا خاک اشباع شده بررسی و از عامل شکل هوا که توسط دِ وریز (De Vries, 1963) فرض‌شده بود، استفاده کردند. سپاس‌خواه و بوئرِسما (Sepaskhah & Boersma, 1979) مدل دِ وریز را برای خاک‌های لومی رسی، شنی‌لومی و لومی آزمایش نمودند. آن‌ها دریافتند که مدل می‌تواند به‌طور رضایت‌بخشی، هدایت گرمایی خاک را پیش‌بینی نماید. هومپنز و دن (Hompans & Dane, 1986) نیز دریافتند که مدل دِ وریز می‌تواند به‌صورت قابل قبولی برای پیش‌بینی هدایت گرمایی خاک استفاده شود چون تفاوت مقدار برآورد شده و اندازه‌گیری شده در محدوده ۱۰٪ بود.

برای مقایسه مقادیر تجربی و محاسبه شده هدایت گرمایی خاک، از مدل دِ وریز با فرض اینکه تخلخل ۴۰ درصد، نسبت کوارتز ۳۹ درصد، نسبت مواد معدنی دیگر ۱۹ درصد و نسبت مواد آلی ۲ درصد استفاده‌نمودیم. پیشتر فرض شد که عامل شکل ذرات کوارتزی مشابه با کروی‌ها با α=۲/۰ است، عامل شکل ذرات معدنی دیگرِ غیر کوارتزی مشابه کروی‌ها با α=۴/۰ است و اینکه عامل شکل مواد آلی مشابه با ذرات مسطح با ضخامت کم و لایه‌ای است. تفاوت بین عامل شکل برای کوارتز و دیگر مواد معدنی بستگی به این امر دارد که کوارتز اغلب بر بخش شنی غالب می‌شود در حالی‌که مواد معدنی دیگر بر بخش شنی غالب نمی‌شوند. ظرفیت زراعی ۰/۲۷ و نقطه پژمردگی ۰/۱۱ است. نتایج در شکل ۳-۲، همراه با داده‌های تجربی به‌دست آمده توسط موگنسن (Mogensen, 1969) نشان داده شده است.



شکل ۲-۳ هدایت گرمایی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده خاک نسبت به رطوبت

در Daisy ترکیبات مواد کانی‌شناسی خاک جامد، اگر به‌صورت دیگری مشخص نشده باشد، از ترکیب بافت تخمین زده می‌شود. تخمین بر اساس تحقیق موبرگ (Møberg et al., 1988) است و فرض می‌شود که محتوای کوارتز در شن، سیلت و رس به ترتیب ۰/۷۰، ۰/۶۰ و ۰/۱۵ است. پیش‌فرض اتخاذ شده برای عامل شکل به ترتیب α=۲/۰ و α=۴/۰ برای کوارتز و مواد معدنی دیگر است و عامل شکل پیش‌فرض برای مواد آلی مشابه ذرات لایه‌ای فرض شده است.

۲-۱۸- بیلان املاح خاک

هدف از مدل بیلان املاح، ردیابی املاح تخصیص یافته به سیستم یا منتشر شده در سیستم است. بیلان آمونیوم، نیترات و سموم از موارد ویژه بیلان املاح هستند. بیلان املاح، ترکیبی از بیلان سطحی و بیلان املاح خاک است.

۲-۱۹- بیلان املاح سطحی

ورودی بیلان املاح سطحی می‌تواند به شکل سم‌پاشی (برای مثال آفت‌کش‌ها) باشد. میزان آب اختصاص یافته در طول سم‌پاشی به‌طور نمونه حدود ۲۰۰ L/ha یا ۰/۰۲ mm است، از این‌رو، مقدار آب اعمال شده در طی سم‌پاشی قابل اغماض است. طی سم‌پاشی با بار املاحی معین، قسمتی از املاح ممکن است به وسیله تاج، حائل شود، در حالی‌که قسمت دیگر آن به‌صورت بارش مستقیم به سطح خاک می‌رسد. در حالت اول تابعی از شاخص سطح برگ فرض می‌شود و به این صورت برآورد می‌گردد:

$$J_{m.d} = P_m \exp(-K_I L_{ai})$$

که در آن؛ $J_{m,d}$ بارش، P_m بار، K_I ضریب توزیع تجربی (همانند آنچه که در بیلان سطحی آب است) و L_{ai} شاخص سطح برگ است. ممکن است املاح حائل شده توسط تاج گیاه پراکنده، ذخیره و یا شسته شوند. بیلان املاح بر روی تاج محصولات:

$$S_m^{t+\Delta t} = \frac{S_m^t + (P_m - J_{m.d})\Delta t}{1 + \left(K_I + \frac{f_w J_{w.C}}{S_{w.C}^{t+\Delta t}}\right)}$$

که در آن S_m مقدار املاح ذخیره شده، K_I ضریب شدت پراکندگی مرتبه اول، f_w ضریب شست‌وشو، $J_{w,c}$ جریانی که از تاج به سمت خاک جاری می‌شود و S_w مقدار آب حائل ذخیره شده است. مقدار شست‌وشو شده از تاج به این صورت برآورد می‌شود:

$$J_{m.C} = J_{w.C} f_w \frac{S_m^{t+\Delta t}}{S_{w.C}^{t+\Delta t}}$$

و مقدار انتشار یافته به این صورت برآورد می‌شود:

$$D = K_I S_m^{t+\Delta t}$$

که در آن D میزان انتشار یافته است که از اثر جذب در محلول‌پاشی[1] و تمام فرایندهای ائتلاف (مانند تجزیه شیمیایی بر اثر نیروی تابشی[2] و عمل تبخیر[3]) تقلید می‌شود.

۲-۲۰- بیلان املاح خاک

هدف از بیلان املاح خاک، ردیابی چگونگی توزیع املاح درون نیم‌رخ خاک مورد بررسی است. مدل، املاح جذب شده[4] را همانند املاح موجود در محلول خاک بررسی می‌نماید. مدل فرایند تبدیل مداوم (ورودی و خروجی[5]) و جذب توسط گیاهان را یکی می‌نماید. هسته مدل بیلان املاح، معادله همرفت–انتشار[6] است:

$$\frac{\partial(A + \theta C)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z}\left[\theta D_h \frac{\partial C}{\partial Z} - qC\right] + \Phi$$

که در آن A مقدار جذب ، C غلظت در خاک محلول، D_h به اصطلاح ضریب انتشار مؤثر، θ رطوبت حجمی، q جریان دارسی و Φ جزء نشت[7] است که حاصل ادغام فرایند تبدیل و جذب گیاه می‌باشند. معادله همرفت–انتشار تنها زمانی معتبر است که به اصطلاح، موازنه موضعی به‌دست آید و این شرایط، وقتی جریان ترجیحی رخ دهد، ایجاد نمی‌شود. وقتی جریان ترجیحی مدل می‌شود، Daisy دو نوع رژیم جریان

1 Foliar
2 photolysis
3 Volatilization
4 Sorbed
5 losses and gains
6 Convection-dispersion
7 Sink

را فرض می‌کند؛ یک رژیم جریان ماتریس که در آن معادله همرفت–انتشار اعمال می‌شود و دیگری رژیم جریان منافذ درشت که در آن تنها همرفت بررسی می‌گردد. تبادل بین دو رژیم از طریق منبع– نشت، Φ است. این تبادل توسط جریان آب اداره می‌شود. مدل، ذخیره املاح در منافذ بزرگ را در نظر نمی‌گیرد، از این‌رو، منافذ بزرگ تنها به‌عنوان گذرگاهی سریع برای انتقال املاح در نظر گرفته می‌شود.

جذب سطحی، آنی (نزدیک به حالت تعادل) فرض و می‌تواند توسط ایزوتوپ فرندلیچ[1] یا ایزوترم لانگیور[2] توصیف شود. ایزوترم فرندلیچ به این صورت است:

$$A = K_F C^n$$

که در آن؛ K_F و n پارامترهای مدل تجربی هستند. لازم به ذکر است که اگر n برابر با یک باشد، آنگاه ایزوترم فرندلیچ خطی و پارامتر K_F ضریب انتشار می‌شود. ایزوترم لانگیمور به این صورت است:

$$A = \frac{A_{L.m} C}{K_L + C}$$

که در آن $A_{m,l}$ بیشترین ظرفیت جذب و K_l ثابت نیمه‌اشباع است. ضریب انتشار مؤثر شامل اثرات انتشار هیدرودینامیکی و پخشیدگی است که به این صورت محاسبه می‌شود:

$$D_h = \lambda \left|\frac{q}{\theta}\right| + f_l D_l$$

که در آن λ طول پراکندگی یا پراکنش، D_l ضریب پخشیدگی املاح در محلول و f_l به اصطلاح عامل اعوجاج است.

به‌منظور حل معادله همرفت–انتشار، باید شرایط مرزی بالادست و پایین دست شناخته شده باشد. شرایط مرزی بالادست همیشه به‌صورت یک جریان املاح معلوم درون خاک سطحی، فرض می‌شود و شرایط مرزی پایین دست یک شرایط گرادیان صفر است.

حل عددی معادله همرفت–انتشار بر اساس تحقیق واگنت و هادسان (Wagenet and Hudson, 1989) انجام شد.

حرکت عمودی املاح در رژیم جریانِ ماتریس خاک، نتیجه همرفت و همچنین پخشیدگی است:

$$J = -\theta D_h \frac{\partial C}{\partial Z} + qC$$

1 Freundlich isotherm
2 Langmuir isotherm

که در آن J چگالی شار املاح است. اگر رژیم منافذ درشت نیز فعال باشد، آنگاه به‌منظور دست‌یابی به کل جریان املاح، انتقال در منافذ درشت باید اضافه گردد. قابل ذکر است که انتقال در منافذ بزرگ بستگی به شدت جریان آب در منافذ بزرگ و غلظت املاح در منطقه‌ای دارد که جریان منافذ بزرگ از آنجا سرچشمه می‌گیرد.

۲-۲۱- حرکت املاح درسطوح ریشه

املاح ممکن است به وسیله یک فرایند فعال یا یک فرایند غیرفعال توسط گیاهان جذب شود. اگر فرایند فعال باشد، فرض می‌شود که گیاه غلظت مواد شیمیایی مورد بررسیِ سطح ریشه را تنظیم می‌کند و هر دو جریان توده‌ای و پخشیدگی می‌تواند در حرکت املاح به سمت ریشه سطحی دخیل باشد. در طول جذب فعال، حرکت املاح به سمت سطوح ریشه، به‌عنوان جریان توده‌ای خالص شبیه‌سازی می‌شود.

انتقال املاح از حجم خاک به سمت سطح ریشه بستگی به تعداد فرضیات مشابه با آنچه که برای جریان آب اتخاذ شده است، دارد. هر ریشه ممکن است میانگین حجم مؤثر از خاک را استخراج کند که به‌صورت یک استوانه اطراف ریشه فرض می‌شود. اگر جذب فعال رخ دهد، فرض می‌شود که املاح توسط هر دو جریان توده‌ای و پخشیدگی انتقال می‌یابد. علاوه بر این، فرض می‌شود که غلظت- فاصله نیم‌رخ خاکِ اطراف توسعه ریشه در گام‌های زمانی در روشی گام به گام توسعه می‌یابد و در هر گام زمانی، برای نیم‌رخ خاک وضعیت ثابتی تقریب زده می‌شود. بر اساس این فرضیات، جریان- املاح به سمت سطح ریشه، به این صورت است:

$$I = \begin{cases} 4\pi D(C - C_r)\left[\dfrac{\beta^2 \ln \beta^2}{\beta^2 - 1} - 1\right] & \alpha = 0 \\ q_r \dfrac{(\beta^2 - 1)C - \ln(\beta^2)C_r}{(\beta^2 - 1) - \ln(\beta^2)} & \alpha = 2 \\ q_r \dfrac{(\beta^2 - 1)(1 - \alpha/2)C - (\beta^{2-\alpha} - 1)C_r}{(\beta^2 - 1)(1 - \alpha/2) - (\beta^{2-\alpha} - 1)} & \text{else} \end{cases}$$

$$\alpha = \frac{q_r}{2\pi D}$$

$$\beta = \left(r_r^2 \pi L\right)^{-1/2}$$

که در آن؛ I جذب املاح در واحد طول ریشه، D ضریب پخشیدگی در خاک، C غلظت حجمی املاحی که از معادله همرفت- انتشار به‌دست می‌آید و C_r غلظت در سطح ریشه، q_r جریان آب به سمت سطح

ریشه، r_r شعاع ریشه و l چگالی ریشه است. اگر دسترسی به املاح باعث محدود شدن جذب شود، آنگاه C_r برابر صفر فرض می‌شود. از این‌رو، ریشه به‌عنوان یک نفوذ عمقی (نشت) صفر عمل می‌کند. در این صورت، کل املاح جذب شده با یکپارچه کردن I در کل سیستم ریشه محاسبه می‌شود. اگر که املاح بیش از اندازه اعمال شود، میزان کل جذب املاح به وسیله میزان تقاضای محصول تعیین می‌شود. در این مورد، جذب کل شناخته می‌شود و در کل سیستم ریشه توزیع می‌شود. لایه‌هایی از خاک که در آن $C<C_r$ باشد، فرض می‌شود که مشارکتی در جذب املاح ندارند. علاوه بر این، فرض می‌شود که I توسط بیشترین نسبت جذب سطحی، که نمی‌تواند بالغ بر این مقدار باشد، محدود می‌شود.

در خاک، پخشیدگی متأثر از رطوبت خاک، هم از نظر انتشار در مقطع و هم از نظر مسیر اعوجاج، تحت تأثیر املاح درون منافذ است. ضریب پخشیدگی حجمی خاک به این صورت محاسبه می‌شود:

$$D = \theta D_l f_l$$

که در آن θ رطوبت حجمی، D_l ضریب پخشیدگی در املاحِ رهاشده و f_l که به اصطلاح عامل اعوجاج است که می‌توان از راه‌های زیادی برآورد شود. در Daisy ، مدل‌های عامل اعوجاج شامل موارد زیر است: ۱) مدل خطی گام به گام:

$$f_l = \begin{cases} f_l^0 & \theta \le \theta_0 \\ f_l^0 + \alpha(\theta/\theta_0) & \theta > \theta_0 \end{cases}$$

که در آن f_l^0، θ_0، a ثابت هستند. مقدار f_l^0 به‌طور قراردادی 10^{-6} انتخاب شد، در حالی‌که a و θ_0 پارامترهای توصیف کننده خاک هستند و مقادیر پیش‌فرض a=۲ و θ_0=رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم است. ۲) میلینگتون و کوریک (Milligton & Qurik, 1960):

$$f_l = \frac{\theta^{7/3}}{\theta_s^2}$$

که درآن θ_s رطوبت اشباع خاک است. مدل میلینگتون و کوریک مدل پیش‌فرض است.

۲-۲۲- مدل بیلان نیتروژن

در سیستم خاک–گیاه–اتمسفر، نیتروژن در شکل‌های مختلف وجود دارد. هدف از مدل بیلان نیتروژن ردیابی موارد زیر است:

- آمونیوم
- نیترات
- ماده آلی نیتروژن

تبادل بین شکل‌های مورد بررسی و تلفات سیستم ممکن است به‌دلیل فرایندهای مختلف باشد، مانند:

- تثبیت نیتروژن معدنی خاک توسط موادآلی خاک
- معدنی شدن ماده آلی و بعد شکل‌گیری آمونیوم
- نیتریفیکاسیون آمونیوم و بعد تشکیل نیترات
- دی‌نیتریفیکاسیون (نیتروژن دهی) نیترات
- جذب نیتروژن معدنی خاک و بعد شکل‌گیری نیتروژن محصول
- آبشویی[1] آمونیوم و نیترات

۲-۲۳- تغییر و تبدیل۲ معدنی‌شدن-تثبیت

فرایندهای انتقال ماده آلی خاک، تغییر و تبدیل معدنی شدن-تثبیت یا MIT اجرا شده توسط خورنده‌های مواد پوسیده (ساپروفیت)[3] یا تغذیه کننده از شکارِ دگرتغذیه‌ای[4] موجودات زنده خاک است. زیست‌توده‌های خاک، مواد آلی نیتروژن‌دار خاک را به‌عنوان منبع انرژی، نیتروژن و غیره مورد استفاده قرار می‌دهند. اگر غلظت نیتروژن در مواد آلی جذب شده[5] توسط زیست‌توده بیشتر از مقدار مورد نیاز برای رشد باشد، در محلول خاک، ایجاد آمونیوم می‌کند. از طرف دیگر اگر غلظت نیتروژن در مواد آلی جذب شده توسط زیست‌توده برای رشد، کمتر از مقدار مورد نیاز باشد، آمونیوم یا نیترات از محلول خاک جذب شده و تبدیل به ترکیبات آلی نیتروژن‌دار می‌شود. از این‌رو تولید خالص آمونیوم که از معدنی شدن خالص نیتروژن تعیین می‌شود، تفاوت بین دو فرایند مخالف یعنی نیتروژن معدنی شده و نیتروژن تثبیت شده است.

فعالیت زیست‌توده خاک و متعاقباً تبدیل و انتقال مواد آلی خاک معمولا با توجه به در دسترس بودن میزان مواد آلی برای موجودات زنده خاک، تعیین می‌شود. مقدار اندازه‌گیری شده‌ی مورد استفاده در مدل

1 Leaching
2 Turnover
3 Saprophytic
4 Heterotrophic
5 Assimilated

Daisy، برای لایه مواد آلی در دسترس، همان مقدار غلظت کربن در مواد آلی است. از این رو، شبیه سازی معدنی شدن خالص نیتروژن بر اساس شبیه‌سازی سرعت تبدیل و انتقالِ کربن مواد آلی است.

مواد آلی خاک شامل فراورده‌های مختلفی است که طیف وسیعی از بافت‌های حیوانی و گیاهی سالم و موجودات زنده‌ای که در خاک زندگی می‌کنند تا هوموس را، شامل می‌شود. هوموس مواد آلی سیاه رنگی است که هیچ اثری از ساختار آناتومیکیِ موجودات زنده‌ای که از آن به‌دست آمده‌اند، را ندارد. به غیر از خاک‌های اسیدی و خاک‌ها با زهکشی ضعیف، نسبت C به N (C:N) در مواد آلیِ خاک معدنی معمولاً در محدوده‌ی ۱۰ به ۱۲ است.

مدت زمان زیادی است که مواد آلی خاک و مواد خاص هوموسی، به‌صورت یک مجموعه نسبتاً پایدار شناخته می‌شوند که از کاتیون‌های چند ظرفیتی، مانند Al^{3+}، Fe^{3+} و Ca^{2+} تشکیل شده‌اند، که از طریق اتصال کاتیون‌ها می‌تواند به سطح خاک رس حامل بار منفی جذب شود. در این روش و چندین مکانیزم دیگر، ممکن است مواد آلی خاک همانند موجودات زنده ریز، تا حدی در مقابل تجزیه میکروبی محفوظ باشند. به‌همین دلیل، محتوای مواد آلی تجزیه‌پذیر و زیست‌توده، اغلب با افزایش محتوای رس خاک افزایش می‌یابد.

شدت تجزیه‌ی مواد آلی در خاک، علاوه بر در دسترس بودن مواد آلی خاک برای زیست‌توده، تحت تأثیر رطوبت خاک، دمای خاک، pH، فشار اکسیژن و در دسترس بودن مواد مغذی معدنی است. در محدوده pH ۵ تا ۸ که محدوده‌ی ارائه شده برای خاک‌های کشاورزی است، به نظر می‌رسد شدت تجزیه مواد آلی در خاک، تحت تأثیر pH نیست، نظر به اینکه شدت تجزیه در خاک‌های اسیدی محدود است.

به‌طور کلی، شدت تجزیه مواد آلی در خاک نامحدود است یا فقط زمانی که فشار اکسیژن در هوای خاک در محدوده بین ۰/۰۵یا ۰/۲ بار باشد، توسط فشار اکسیژن اندکی محدود می‌شود (Parr and Reuszer, 1959; Kempner, 1937). در فشار اکسیژن پایین شدت تجزیه مواد آلی کم است و تجزیه کمتر کامل می‌شود. با این حال، هوادهی خاک و تأمین اکسیژن برای فرایندهای نیازمند اکسیژن در خاک، مانند تنفس ریشه و تجزیه میکروبی، به‌طور تنگاتنگی وابسته به رطوبت خاک است. از این‌رو، شرایط هوادهی معمولاً می‌تواند به‌صورت جزء رطوبتی بیان شود. در فقدان نیتروژن به نظر می‌رسد که تنها عنصر نیتروژن است که می‌تواند تجزیه مواد آلی در خاک‌های کشاورزی را محدود کند.

در مدل مواد آلی خاک مذکور، عوامل غیرزنده به‌صورت جزء رطوبت خاک، جزء دمای خاک و جزء محتوای رس درنظر گرفته می‌شوند.

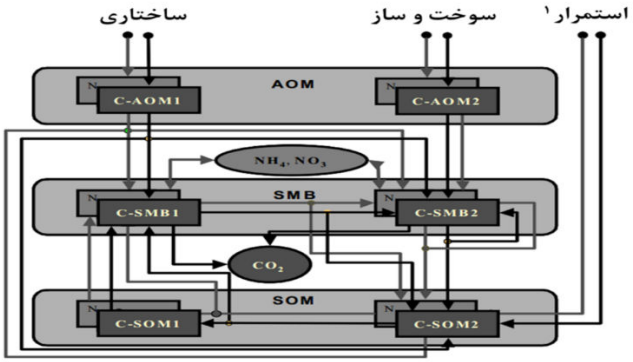
مواد آلی خاک را می‌توان به حداقل سه مخزن[1] اصلی تقسیم نمود؛ به‌عنوان مثال، مواد آلی بومی مرده (SOM)، زیست‌توده‌های میکروبی (SMB) و مواد آلی افزوده شده (AOM)، (شکل ۴). هرکدام از این مخزن‌ها به‌صورت مجزا درنظر گرفته می‌شود که شامل یک زنجیره از کیفیت‌های لایه است، اما به‌منظور تسهیل در تشریح تمام فرایندهای تبدیل و انتقال ناشی از سینتیک (جنبش‌شناسی) مرتبه اول[2] ، هریک از این مخازن اصلی به دو زیرمخزن[3] تقسیم می‌شود: یکی مربوط به تبدیل و انتقال کند (مانند SOM1، SMB1 و AOM1) و یکی مربوط به تبدیل و انتقال سریع (مانند SOM2، SMB2 و AOM2). سینتیک مرتبه اول پیش‌بینی می‌کند که سرعت تنزیل[4] متناسب با اندازه مخزن مورد بررسی است:

$$\frac{dC}{dt} = -KC$$

که در آن، C میزان کربن در زیرمخزن مورد بررسی (مانند SOM1، SMB2 و AOM1) و k ضریب شدت تجزیه مرتبه اول، که در تطابق با عوامل غیرزنده مورد بررسی، اصلاح می‌شود.

شدت تجزیه SOM1 و SMB2 متأثر از دمای خاک، رطوبت خاک و محتوای رس خاک در نظر گرفته می‌شود. در خاک‌هایی که نسبت مواد آلی ورودی آن‌ها بالا است، SOM2 بسیار سریع‌تر از SOM1 افزایش می‌یابد، در حالی که در خاک‌ها با نسبت مواد آلی کم، SOM2 سریع‌تر از SOM1 کاهش می‌یابد. بنابراین شدت معدنی شدن پتانسیل نیتروژن از مواد آلی بومی مرده در خاک، به‌شدت وابسته به توزیع مواد آلی خاک بومی مرده بین SOM1 و SOM2 است، که به نوبه خود شدیداً وابسته به تاریخچه مدیریتی خاک است که شامل عملیات خاصی مانند کوددهی است که قبلاً در محوطه کشاورزی اعمال شده است. نسبت SOM1:SOM2 معمولاً به‌عنوان پارامتر کالیبراسیون مهم در مدل-MIT مطرح می‌شود.

1 Pool
2 first-order kinetics
3 Sub-pool
4 Decay rate



شکل ۲-۴ مخزن‌ها و زیر مخزن‌های (۱ و ۲) برای مواد آلی و تقسیم‌بندی مربوط به جریان آلی C (و N) بین مخزن‌ها. AOM: مواد آلی اضافه شده؛ SMB: زیست‌توده میکروبی خاک و SOM: مواد آلی خاک. (Recalcitrant [1]).

تولید دی‌اکسیدکربن حاصلِ تمام جریانات کربن (C) درون مخزن زیست‌توده میکروبی (SMB) است (کارایی مصرف لایه کمتر از واحد است). علاوه بر این، تنفس برای بقا میکروبی هم دی‌اکسیدکربن تولید می‌کند. تنفس برای بقا به‌صورت یک فرایند مرتبه اول تعریف می‌شود و همانند روش شدت تجزیه، متأثر از عوامل غیرزنده است. شدت تجزیه SMB1 متأثر از دمای خاک، رطوبت خاک و محتوای رس خاک در نظر گرفته شده است، در حالی که تبدیل و انتقال SMB2 تنها متأثر از دمای خاک و رطوبت خاک است. اگرکه نسبت C به N (C:N) برای SMB1 و SMB2 معلوم نباشد، به ترتیب ۶ و۱۰ فرض می‌شود. همان‌طور که از روابط متقابل توصیف شده در شکل ۲-۴ برداشت می‌شود، اندازه مخزن SMB1 و SMB2 به‌طورقابل توجهی، تحت تأثیر اندازه زیرمخزن‌ها و به‌خصوص تحت تأثیر نسبت SOM1:SOM2 (SOM1 به SOM2) است چون مخازن SOM به مراتب بیشتر، شامل مواد آلی موجود هستند. با این‌حال ممکن است تنها پس از استعمال مقدار زیادی مواد آلی، به‌دلیل ویژگی ناپایداری مخزن AOM، تأثیر قابل ملاحظه‌ای در اندازه‌ی استخرهای SMB (به‌خصوص SMB2) ایجاد شود. در صورتی که مشخص‌شده نباشد، مدل فرض خواهد کرد که استخرهای SMB در مقدار اولیه در تعادل با باقی سیستم است.

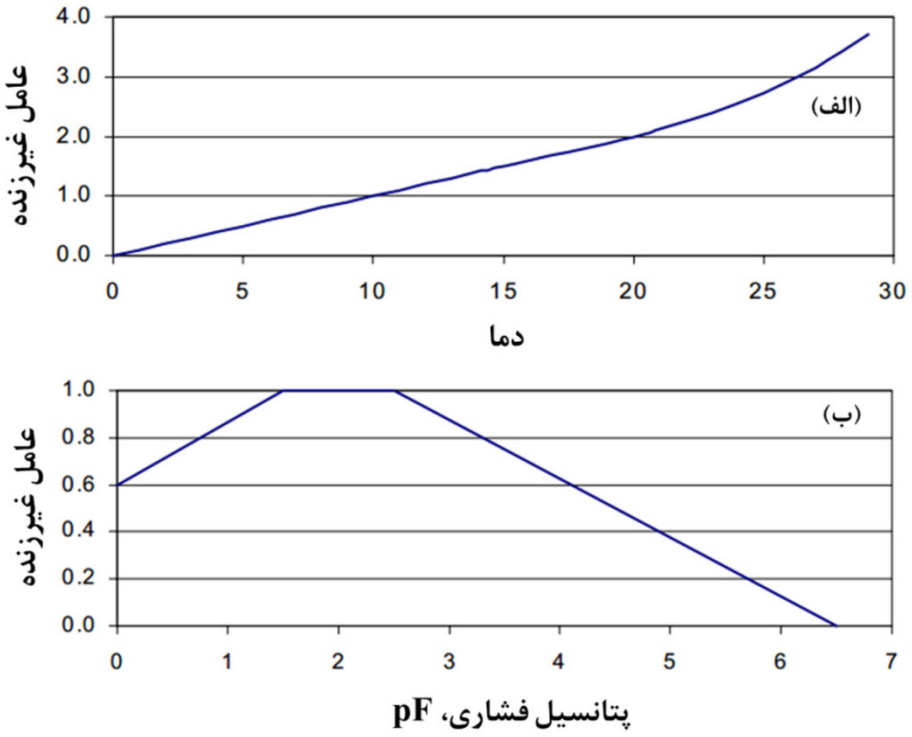
مواد آلی افزوده شده می‌تواند به‌صورت کود آلی باشد مانند کود دامی[1]، کود مایع[2]، کود سبز محصول[3] یا بقایای گیاهی رها شده پس از برداشت محصول. علاوه بر این، بقایای ریشه در طول رشد هم ممکن است تختصیص یابد. به علاوه، مدل دارای روالی برای برای اختلاط زیستی[4] است که باعث حرکت مواد آلی از سطح خاک به درون خاک می‌شود. مواد آلی وارد شده به خاک به دو زیر مخزن طراحی شده AOM1 و AOM2 اختصاص می‌یابد. شدت تجزیه AOM1 و AOM2 متأثر از دمای خاک و رطوبت خاک در نظر گرفته شده است. در مورد یک کود آلی مانند کود کشاورزی که در آن چندین تجزیه در بخشی از مواد آلی صورت گرفته باشد، مستقیماً به SOM2 اختصاص می‌یابد. مدل می‌تواند با تعداد نامشخص از مجموعه مخزن‌های AOM کار کند.

در ادامه موضوع، در مدل MIT که بر اساس C است، اگر که مقدار مشخص C در مخازن استفاده شود، مخازن N متناظر از نسبت ثابت C به N برای هر مخزن برآورد می‌شود. معدنی شدن خالص یا تثبیت–N، به راحتی از بیلان N استنتاج می‌شود. اگر تثبیت رخ دهد، جذب و ترکیب[5] آمونیوم بر جذب و ترکیب نیترات الویت دارد. با این حال نه آمونیوم و نه نیترات نمی‌توانند در یک سرعت بالاتر از سرعت مشخص، که متناسب با غلظت لایه مورد بررسی است، توسط SMB جذب و ترکیب شوند. ضریب سرعت یک پارامترِ مدل است. (مقدار پیش‌فرض آن $۰/۵d^{-۱}$ است).

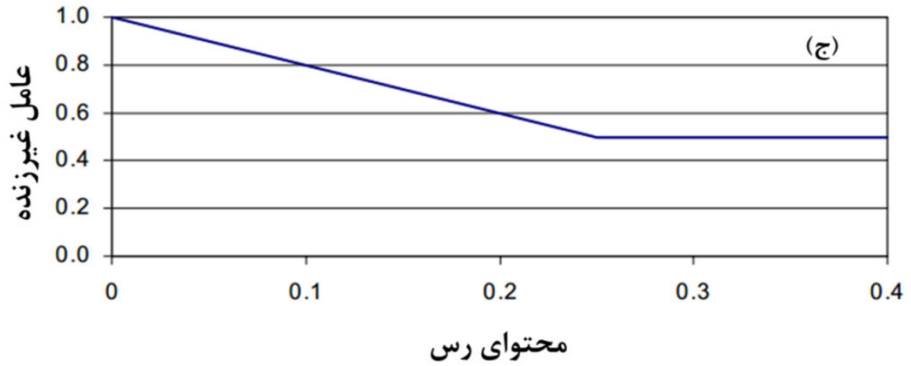
برای اصلاح شدت تجزیه‌ی مواد آلی خاک از شرایط استاندارد به شرایط واقعی، توابع غیرزنده نسبت به دمای خاک، رطوبت خاک و محتوای رس، که در شکل ۲–۵ آمده است، استفاده می‌شود. فرض می‌شود که هیچ تعاملی بین اثر عوامل غیرزنده مختلف و اثر ترکیبی آن‌ها وجود ندارد. توابع غیرزنده از منابع مقالات مختلف استخراج شده است؛ مانند، ادیسکات (Addiscott, 1983)، آندرسون (Anderson, 1979)، کمپبل و همکاران (Cambell et al., 1981)، میلر و جانسون (Miller and Johnson, 1964)، اورچاد و کوک (Orchard and Cook, 1983)، استَنفورد و همکاران (Stanford et al., 1973)، استَنفورد و اِپستین (Stanford and Epstein, 1974)، استات و همکاران (Stott et al., 1986)، سورنسِن (Sørensen, 1975) و وین و پووال (Veen and Paul, 1981).

1 Farmyard manure
2 Slurry
3 Green crop manure
4 Bio-incorporation
5 Assimilation

مقدار پارامتر شدت تبدیل و انتقال در مخازن SOM و ضرایب تقسیم‌بندی متناظر (شکل ۴-۲) طی کالیبراسیون بر اساس اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای طولانی مدت در ایستگاه آزمایشی رتامستید انگلستان[1] به‌دست آمد (Jenkinson and Rayner 1977; Jenkinson et al. 1987). مقدار پارامتری شدت تبدیل و انتقال مخازن SOM و ضرایب تقسیم‌بندی متناظر (شکل ۲-۴) تا حدودی بر اساس آزمایشات انکوباسیون[2] (Lind et al., 1990) و تا حدودی نیز بر اساس آزمایشات مزرعه‌ای (Muller et al., 1997) است. پارامترهای مدل-MIT در شرایط استاندارد (رطوبت بهینه، دمای ۱۰ ℃و بدون محتوای رس) در جدول ۲-۲ نشان داده شده است.



1 Rothamsted Experimental Station, England
2 Incubation



شکل ۲-۵ توابع غیرزنده برای اصلاح ضرایب شدت تجزیه نسبت به دمای خاک (الف)، پتانسیل فشاری رطوبت خاک (ب) و محتوای رس(ج).

ارزیابی پارامترهای مربوط به شبیه‌سازی‌های بلندمدت توسط جِنسن و همکاران (Jensen et al., 1997) تأیید شد. با این‌حال، پارامترهای اصلی مربوط به شبیه‌سازی‌های کوتاه‌مدت (Hansen et al. 1991a) بر اساس پیشنهادات مولر و همکاران (Mueller et al., 1997) در زمینه شبیه‌سازی تبدیل و انتقال هر دو عنصر C و N به‌صورت صحیح اصلاح شد. به نظر می‌رسد که در پارامترهای اصلی، اندازه مخزن‌های SMB کمتر از مقدار واقعی تخمین زده می‌شود.

پارامترهای تبدیل و انتقال مخازن AOM شدیداً بستگی به نوع مواد آلی اختصاص یافته به مخزن AOM دارد. بر اساس داده‌های انکوباسیون از تحقیقات لیند و همکاران (Lind et al., 1990) و هانسن و همکاران (Hansen et al., 1990) مقادیر جدول ۲-۳ به‌دست آمد. لازم به ذکر است که ارزیابی پارامترهای حاضر بر اساس آزمایشات انکوباسیون انجام می‌شود که در آن مواد آلی با تقسیم‌بندی ریز افزوده می‌شود، که ممکن است منجر به این شود که شدت تبدیل و انتقال تخمین زده شده در مقایسه با شرایط معمول مورد انتظار در مزرعه، بیشتر شود. علاوه بر این، لازم به ذکر است که مواد آلی افزوده شده شامل لیگنین[1] و دیگر ترکیبات مقاوم است. بنابراین، این ممکن است برای تعیینِ مسیرِ تبدیل قسمت‌هایی از مواد آلی افزوده شده به مواد آلی خاک (SOM2) به‌عنوان یک مورد کود کشاورزی یا کود مایع نسبتاً

1 Lignin

هموفای‌شده[1]، مناسب باشد. بر اساس آزمایشات مزرعه‌ای مولر و همکاران (Muller et al., 1997 و Muller et al., 1998) پارامترهای ارائه شده در جدول ۲–۴ استنتاج شد.

جدول ۲–۲ پارامترهای تایید شده مدل بر اساس تحقیقات هانسِن و همکاران (Hansen et al., 1990) و مولر و همکاران (Muller et al., 1997)

پارامتر		مقدار	واحد
شدت تجزیه SOM1	a	۲/۷۰×۱۰$^{-۶}$	d^{-1}
شدت تجزیه SOM2	a	۱/۴۰×۱۰$^{-۴}$	d^{-1}
نسبت تأخیر SMB1	a	۱/۸۵×۱۰$^{-۴}$	d^{-1}
نسبت تأخیر SMB2	a	۱/۰۰×۱۰$^{-۲}$	d^{-1}
شدت تجزیه مواد گیاهی– AOM1 †		۱/۲۰×۱۰$^{-۲}$	d^{-1}
شدت تجزیه مواد گیاهی– AOM2 †		۵/۰۰×۱۰$^{-۲}$	d^{-1}
ضریب تنفس بقا SMB1	a	۱/۸۰×۱۰$^{-۳}$	d^{-1}
ضریب تنفس بقا SMB2	a	۱/۰۰×۱۰$^{-۲}$	d^{-1}
راندمان بهره‌برداری لایه (SMB)	a	۰/۶	
راندمان بهره‌برداری لایه (SOM1)	a	۰/۴	
راندمان بهره‌برداری لایه (SOM2)	a	۰/۵	
راندمان بهره‌برداری لایه (مواد گیاهی–AOM1) †		۰/۱۳	
راندمان بهره‌برداری لایه (مواد گیاهی–AOM2) †		۰/۶۹	
ضریب تقسیم‌بندی، SOM2 به SOM1	a	۰/۱	
ضریب تقسیم‌بندی، SMB1 به SOM2	a	۰/۶	
ضریب تقسیم‌بندی، SMB2 به SOM2	a	۰/۶	
ضریب تقسیم‌بندی، AOM1 به SMB1 †		۰/۵	
ضریب تقسیم‌بندی، AOM1 به SMB2 †		۰/۵	
نسبت C/N برای SOM1 (وابسته به خاک– SOM)		۱۴–۸	
نسبت C/N برای SOM2 (وابسته به خاک– SOM)		۱۴–۸	
نسبت C/N برای SMB (SMB1 و SMB2)	a	۶/۷	
نسبت C/N برای AOM1 (وابسته به مواد ورودی)		۱۰۰–۱	
نسبت C/N برای AOM2 (وابسته به مواد ورودی)		۱۰۰–۱	

† بر اساس تجزیه پوشال‌های کلزا (Muller et al., 1997).

a مقادیری که به‌عنوان مقدار پیش‌فرض در کد Daisy استفاده شده است.

1 Humified

جدول ۲-۳ مقادیر پارامترهایِ مواد آلی افزوده شده به خاک در مدل مواد آلی خاک طی آزمایشات بلندمدت انکوباسیون (در تحقیق هانسن (Hansen et al., 1990) که بر اساس تحقیق لیند (Lind et al., 1990) بود). کارایی مصرف لایه E=۰/۰۶ نسبت [C/N] برای AOM2 از بیلان‌های C و N مربوط به لایه محاسبه می‌شود.

مواد آلی	k^*_{AOM1} day $^{-1}$	k^*_{AOM2} day $^{-1}$	f_{AOM1} --	f_{AOM2} --	$[C/N]_{AOM1}$ --	$f_{AOM16SMB1}$ --	$f_{AOM16SMB2}$ --
بقایای گیاهی †	۵/۰×۱۰$^{-۳}$	۵/۰×۱۰$^{-۲}$	۰/۴۰	۰/۶	۸۰	۰/۵۰	۰/۵۰
پوشال	۱/۰×۱۰$^{-۲}$	۱/۰×۱۰$^{-۱}$	۰/۴۵	۰/۵۵	۸۰	۰/۵۰	۰/۵۰
لجن خوک	۵/۰×۱۰$^{-۳}$	۱/۰×۱۰$^{-۱}$	۱/۰۰	۰/۰۰	۸۰	۰/۴۵	۰/۴۵

† علف

جدول ۲-۴ تعیین تقسیم‌بندی C و نسبت C/N برای مخازن AOM (Muller et al., 1997; Muller et al., 1998)

	f_{AOM1}	f_{AOM2}	$[C/N]_{AOM}$	$[C/N]_{AOM1}$	$[C/N]_{AOM2}$
پوشال کلزا	۰/۹۶	۰/۰۴	۸۰	۹۲	۱۹
پوشال جو	۰/۹۴	۰/۰۶	۷۲	۱۱۰	۱۲
علف آبی	۰/۸۸	۰/۱۲	۲۲	۲۵	۱۲
ذرت	۰/۷۷	۰/۲۳	۳۲	۳۷	۲۳

۲-۲۴- نیتریفیکاسیون

فرایند میکروبی که در آن، آمونیوم به نیترات، اکسید می‌شود را به اصطلاح نیتریفیکاسیون گویند. درخاک‌های زراعی که به خوبی هوادهی شده‌اند، در رطوبت‌های نسبتاً بالا (۱/۵< pF <۲/۵)، pH در محدوده۴-۸، دمای خاک بالا تر از۵℃، فعالیت میکروبی محدود به در دسترس بودن کربن آلی است و اکسید شدن آمونیوم به نیترات به‌همان سرعتِ تشکیل آن توسط فرایند آمونیفیکاسیون[1] است. بنابراین در چنین شرایطی نیتریت به سرعت، با اکسید شدن تبدیل به نیترات می‌شود، آزادسازی N_2O در طول اکسیداسیون آمونیوم به احتمال زیاد، تنها تحت شرایط کاهش فشار اکسیژن رخ می‌دهد. تحت شرایطی

1 Ammonification

مانند نبود تنش اکسیژن، نیتروفیکاسیون به‌عنوان یک فرایند تک گام در مدل Daisy قابل بررسی است که توسط سینتیک نوع میکائیلز- منتن[1] تعریف شود:

$$\xi_n = \frac{V_n(T.h)N_{am}}{K_n + N_{am}}$$

که در آن ξ شدت نیتریفیکاسیون ویژه، $V_n(T,h)$ شدت نیتیرفیکاسیون بیشینه، N_{am} غلظت آمونیوم در خاک، K_n ثابت نیمه‌اشباع، T دمای خاک، h پتانسیل فشاری آب خاک است.

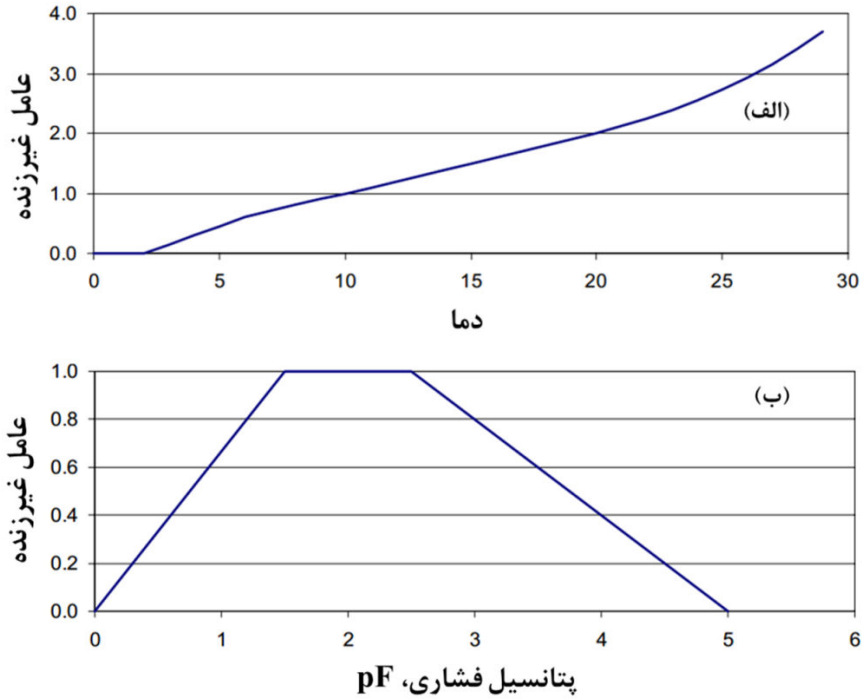
عوامل غیر زنده موثر بر نیتریفیکاسیون در خاک عبارتند از غلظت مواد (CO_2، O_2، NH_4^+)، pH، دما و محتوای رطوبتی خاک (Focht and Verstraete, 1977). علاوه بر رخدادهای طبیعی، مواد بازدارنده هم ممکن است بر نیتریفیکاسیون تأثیرگذار باشد. هیچ مدرکی وجود ندارد که pH در محدوده ۸-۵/۵ و غلظت CO_2 همیشه محدودکننده‌ی فرایند نیتریفیکاسیون باشد، اما غلظت O_2 به وضوح می‌تواند محدودکننده باشد. بر همین اساس، در مدل MIT- شرایط هوادهی به‌صورت جزء رطوبتی بیان می‌شود. عامل غیرزنده تنها بر شدت نیتریفیکاسیون بیشینه تأثیرگذار است:

$$V_n(T.h) = V_n^* F_n^T(T) F_n^h(h)$$

که در آن V^*_n شدت نیتریفیکاسیون بیشینه در دمای ۱۰°C و شرایط رطوبتی بهینه، $F^T_n(T)$ تابع دمای خاک (شکل ۶-۲) و $F^h_n(T)$ تابع پتانسیل فشاری (شکل۲-۶) است. عوامل غیرزنده تصویب شده در شکل ۲-۶ از تحقیقات زیر به دست آمده است: فلاور و اُ کالاگان (Flowers and O'Callaghan, 1983)، تیلور و همکاران (Tyler et al., 1959)، ادیسکات (Addiscott, 1983)، میلر و جانسون (Miller and Johnson, 1964)، سابِی (Sabey, 1969)، و ریچمَن (Reichman et al., 1966). مقایسه شکل ۲-۵ و ۲-۶ نشان می‌دهد که احتمال وقوع تجمع آمونیوم در دمای پایین و در رطوبت‌های بالا و پایین است.

دو نسخه از مدل نیتیریفیکاسیون در مدل Daisy اجرا شده است. در نسخه پیش‌فرض تجمع آمونیوم بر اساس حجم خاک است (پارامترهای پیش‌فرض: V^*_n=۵g m^{-3} d^{-1} و K_n=۵۰g m^{-3}). نسخه دیگر بر اساس غلظت آمونیوم در محلول خاک است.

1 Michaelis-Menten



شکل ۲-۶ عوامل غیرزنده برای اصلاح ضرایب شدت نیتریفیکاسیون نسبت به دمای خاک (الف) و پتانسیل فشاری آبِ خاک (ب).

۲-۲۵- دی نیتریفیکاسیون

زمان طولانی است، که حذف زیستی نیترات (دی‌نیتریفیکاسیون بیولوژیکی)[1] به‌عنوان یک مسیر مهم، که در آن نیتروژنی که به‌صورت گاز اکسیدنیتروژن یا گاز نیتروژن از خاک به هوا می‌رود، بررسی می‌شود. اگرچه حذف زیستی نیترات به‌طور گسترده در طول دو دهه اخیر مورد بررسی قرار گرفته، اما هنوز آگاهی در مورد چگونگی دی‌نیتریفیکاسیون بیولوژیکی از فرایندهای بنیادی میکروبی، تحت شرایط مزرعه‌ای وجود ندارد. با این‌حال، به‌خوبی تصدیق شده است که شدت دی‌نیتریفیکاسیون به این موارد بستگی دارد: مقدار مواد آلی که به راحتی قابل تجزیه پذیری است، حجم محوطه‌های کوچک بی‌هوازی که به‌طور متناوب، درون یک محیط هوازی وجود دارد، دمای خاک و تجمع غلظت نیترات (Fillery, 1983).

1 Biological denitrification

در مدل حاضر، دی‌نیتریفیکاسیون با استفاده از میانگین یک مدل از نوع شاخص نسبتاً ساده[1] شبیه‌سازی می‌شود که در آن، تجزیه مواد آلی، حجم محوطه‌های کوچک بی‌هوازی که به سادگی به‌صورت جزء رطوبتی بیان می‌شود، دمای خاک و غلظت نیترات در محلول خاک مورد نظر، منظور می‌شود. مطابق با تحقیق لیند (Lind, 1980) شدت دی‌نیتریفیکاسیون پتانسیل (میزان شرایط بدون‌اکسیژن[2] و غلظت نیترات کافی) در خاک به‌عنوان یک تابع خطی از شدت تکامل دی‌اکسیدکربن[3] بیان می‌شود:

$$\xi_d^* = \alpha_d^* \xi_{co_2}$$

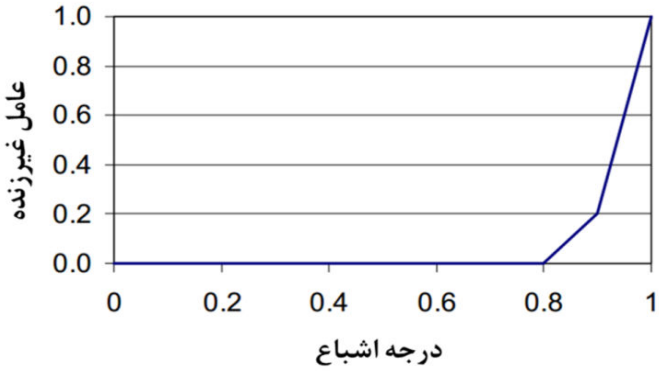
که در آن ξ_d^* شدت دی نیتریفیکاسیون پتانسیل خاک ξ_{CO2} شدت تکامل CO_2 که توسط مدل MIT– شبیه‌سازی می‌شود و α_d^* ثابت تجربی است (مقدار پیش‌فرض ۰/۱ g Gas-N/g CO_2–C). در مدل حاضر، مقدار ξ_{CO2} از مدل مواد آلی، به‌عنوان تکامل CO_2 حاصل از تجزیه مواد آلی استنتاج می‌شود.

شدت دینیتریفیکاسیون واقعی، یا توسط انتقال نیترات به محوطه‌های کوچک بی‌هوازی و یا توسط فعالیت میکروبی واقعی در این محل‌ها تعیین می‌شود. انتقال نیترات به محوطه‌های کوچک فاقد نیترات را فرایند انتشار (پخشیدگی) گویند. از این‌رو حداکثر انتقال، زمانی رخ می‌دهد که محوطه‌های کوچک به‌عنوان نشت صفر عمل کند. بنابراین حداکثر انتقال نیترات به محل‌های کوچک، می‌تواند متناسب با غلظت نیترات در خاک فرض شود($N_{ni}=\theta C_{ni}$ که در آن C_{ni} غلظت در محلول خاک است). افزایش اعوجاج در زمانی که خاک خشک می‌شود، کمی باعث محدود شدن دی‌نیتریفیکاسیون در خاک خشک می‌شود. در زمانی که ذخیره نیترات کافی باشد، شدت دی‌نیتریفیکاسیون واقعی با ضرب شدت دی نیتریفیکاسیون پتانسیل در یک تابع اصلاح کننده به‌دست می‌آید. از این‌رو، دی‌نیتریفیکاسیون واقعی را می‌توان به این‌صورت شبیه‌سازی نمود:

$$\xi_d = \mathrm{Min}\{F_d^\theta(\theta)\xi_d^*; K_d N_{ni}\}$$

که در آن، ξ_d شدت دینیتریفیکاسیون واقعی، $F^\theta_d(\theta)$ تابع اصلاح کننده و K_d عامل تناسب تجربی (مقدار پیش‌فرض:d^{-1}) است. تابع اصلاح کننده، تابعی است که بر اساس رطوبت خاک فرض می‌شود و توسط رولستون و همکاران (Rolston et al., 1984) اتخاذ شده است، شکل ۲–۷.

1 Means of a rather simple index type model
2 Anoxic
3 CO2 evolution rate



شکل ۲-۷تابع اصلاح کننده رطوبت اشباع برای تنظیم شدت دینیتریفیکاسیون.

۲-۲۶- نیتروژن جذب شده توسط گیاه

مدل جذب نیتروژن بر اساس مفهوم تقاضای نیتروژن پتانسیل است که توسط مدل محصول، شبیه‌سازی می‌شود. جذب واقعی نیتروژن، بر اساس تقاضای پتانسیل و هم بر اساس در دسترس بودن نیتروژن یعنی سرعت اینکه نیتروژن بتواند به سطح ریشه انتقال یابد و در پی آن توسط سیستم ریشه جذب شود، در منطقه توسعه ریشه تخمین زده می‌شود. شبیه‌سازی انتقال به سطوح ریشه در بخش انتقال املاح شرح داده شد. گیاه می‌تواند نیتروژن را به‌صورت آمونیوم و یا نیترات جذب کند. در مدل فرض شده است که جذب به شکل آمونیوم نسبت به جذب به شکل نیترات در اولویت است، اگرچه، در بیشتر خاک‌ها آمونیوم عموماً به‌شدت جذب می‌شود، بیشترِ جذب به‌طور معمول به‌صورت نیترات است.

جذب آمونیوم ممکن است توسط یکی از مدل‌های جذب که در مدل انتقال املاح وجود دارد، شبیه‌سازی شود. که هم‌اکنون، یکی ایزوترم فریدلیچ[1] و یکی ایزوترم لانگیمور[2] است. یا ممکن است توسط یک مدل جذب که بر اساس تحقیق وان‌اسچوینبورگ و اسکافلن (van Schouwenburg and Schuffelen, 1963) به‌عنوان پیش‌فرض مدل تعریف شده، شبیه‌سازی شود. مدل فرض می‌کند که تبادل پتاسیم-

1 Freundlich isotherm
2 Langmuir isotherm

آمونیوم در مکان‌های واقع در سطوح رس صورت می‌گیرد. مدل دو نوع مکانِ فعالیت را بررسی می‌کند؛ یعنی مکان‌های مرزی[1] و دیگری مکان‌های برنامه‌ریزی کننده[2]. مدل به این صورت ارائه شده است:

$$A_{am} = x_C \rho_b \left[\frac{V_P C_{am}}{K_p + C_{am}} + \frac{V_e C_{am}}{K_e + C_{am}} \right]$$

که در آن، A_{am} آمونیوم جذب شده، x_c محتوای رس خاک، ρ_b چگالی ظاهری خاک، V_p ظرفیت جذب مکانِ برنامه‌ریزی‌کننده رس، K_p ثابت نیمه‌اشباع مکانِ برنامه‌ریزی‌کننده، V_e ظرفیت جذب مکانِ مرز، K_e ثابت نیمه‌اشباع مکانِ مرز، C_{am} غلظت آمونیوم در خاک اشباع است. (V_p =۶×10^{-3} g(g clay)$^{-1}$، K_p=۶۳ g m^{-3}، V_e=۱/۸×10^{-3} g(g clay)$^{-1}$، K_e=۱۴ g m^{-3}). قابل ذکر است که ایزوترم آمونیوم پیش‌فرض را می‌توان به‌صورت ایزوترم لنگیمور دوگانه بررسی نمود.

۲-۲۷- آبشویی۳

آبشویی آمونیوم و نیترات با مدل انتقال املاح شبیه‌سازی می‌شود و در نتیجه ممکن است در منافذ بزرگ نقل و انتقال، ایجاد شود و یا از بین رود. با این‌حال، از آنجایی که آمونیوم در بسیاری موارد به‌شدت جذب می‌شود، می‌توان گزینه‌ی بدون انتقال[4] را انتخاب نمود تا در زمان کامپیوتری صرفه‌جویی شود.

۲-۲۸- رسوبِ جوّی۵ و کوددهی

ورودی‌های خارجی در بیلان نیتروژن، رسوبِ جوّی و کوددهی هستند و در بعضی موارد خاص، حرکت نیتروژن به‌صورت صعود موئینگی در خاک مورد بررسی است.

رسوب نیتروژن به شکل آمونیوم و نیترات محلول در بارندگی به‌عنوان رسوب مرطوب و به شکل‌های آمونیوم و نیترات جذب شده در قطعات خاک به‌عنوان رسوب خشک فرض می‌شود. در مدل حاضر رسوب نیتروژن به مدل ذخیره سطحی اختصاص داده شده است. وقتی نفوذ رخ میدهد، نیتروژن ذخیره شده در سطح، به‌عنوان آمونیوم حل نشده آزاد و نیترات با نفوذ آب وارد خاک می‌شود.

1 Edge sites
2 Planer sites
3 Leaching
4 no-transport
5 Atmospheric deposition

۲-۲۹- مدل بیلان آفت‌کش‌ها

مدل بیلان آفت‌کش‌ها یک مدل بیلان املاح خاص از مدل بیلان املاح کلی است. هدف از این مدل پیگیری آفت‌کش‌ها در سطح و درون خاک است. ورودی به سیستم به این‌صورت است:

- پاشش (اسپری کردن)[1]

تلفات از سیستم به دلایل زیر صورت میگیرد:

- اتلاف مؤثر، به طور مثال، اثر جذب در محلول‌پاشی و تمام فرایندهای ائتلاف (مانند تجزیه شیمیایی بر اثر نیروی تابشی و عمل تبخیر)
- تجزیه در خاک
- جذب توسط ریشه گیاه
- آبشویی

پاشش یک اقدام در واحدِ مدیریتیِ Daisy است. این اقدام مشمول دو پارامتر است که یکی بار آفت‌کش و دیگری نام آفت‌کش است. از مقدار آب اعمال شده همراه آفت‌کش چشم‌پوشی می‌شود. نام آفت‌کش به‌عنوان وروردی در پایگاه اطلاعاتی مربوط به ویژگی‌های آفت‌کش مورد استفاده قرار میگیرد.

ویژگی‌های مورد نیاز برای آفت‌کش‌ها در رابطه با بیلان سطحی؛ اول ضریب تجربی شست‌وشوی[2] محلول‌پاشی و دوم ضریب نسبی پراکنش تلفات توده‌ای[3] است. اولی به فرمول آفت‌کش‌ها، یعنی چگونگی چسبندگی آن‌ها بستگی دارد.

آفت‌کش‌ها از تاج گیاهی به سمت پایین شسته می‌شوند و یا به‌همان نسبت که به تاج گیاه پاشیده می‌شود، درون خاک می‌ریزد. آفت‌کش‌ها ممکن است در خاک جذب شوند یا تجزیه شوند و یا توسط گیاهان جذب شده و یا با شست‌وشو به خارج از نیم‌رخ خاک مورد بررسی، هدایت شوند.

1 Spraying
2 Washoff
3 Lumped dissipation rate coefficient

۲-۳۰- تجزیه آفت‌کش‌ها

تجزیه آفت‌کش‌ها توسط سینتیک مرتبه اول توصیف می‌شود:

$$\xi = -\left[K^* f_T(T) f_h(h) f_{CO_2}\left(\xi_{CO_2}\right) f_C(C) f_\tau(\tau)\right] C_s$$

که در آن ξ شدت تجزیه آفت‌کش، K^* ضریب شدت تجزیه، C_s حجم آفت‌کش در خاک و f_t، f_h، f_{CO2}، f_C و f_τ توابع اصلاحی در واکنش نسبت به اثر دما، T، پتانسیل فشاری آب خاک، h، تکامل دی اکسید کربن، ξ_{CO2}، غلظت محلول آفت‌کش، C و تأخیر زمانی، τ است. تکامل دی‌اکسیدکربن توسط مدل-MIT شبیه‌سازی می‌شود و تابع اصلاح‌کننده مربوطه برای فعالیت میکروبی معمول در خاک در نظر گرفته می‌شود. مقدار پیش‌فرض تابع اصلاح کننده یک (۱) است؛ یعنی زمانی که هیچ اثری از فعالیت میکروبی زیستی معمول وجود ندارد. تابع اصلاح‌کننده f_C جهت تعیین اثر سطح غلظت بر تجزیه محاسبه می‌شود. مقدار پیش‌فرض برابر با یک است، یعنی هیچ اثری از سطح غلظت وجود ندارد. وقتی آفت‌کش برای اولین بار به خاک اعمال می‌شود اغلب یک تأخیر زمانی قبل از شروع تجزیه مشاهده می‌شود. تابع اصلاح‌کننده تأخیر زمانی یا صفر (بدون تجزیه) یا یک (تجزیه) در نظر گرفته می‌شود. محاسبه تأخیر زمانی به این صورت بیان می‌شود:

$$\tau = \mathrm{Max}\left(\mathrm{Min}\left(\sum_{i=t_0}^{t} g(C_i)\Delta t\,;\,1\right);\,0\right)$$

که در آن t_0 زمانی است که آفت‌کش اعمال شده و t زمان حاضر است. تابع g بستگی به غلظت آفت‌کش‌ها در محلول خاک دارد و اثر غلظت بر پیشروی زمان تأخیر را نشان می‌دهد. زمان تأخیر قابل درجه‌بندی است و همیشه در محدوده بین ۰ و ۱ است. تابع اصلاح کننده f_τ زمانی برابر با یک است که τ=۱ باشد و در سایر موارد صفر است. تابع g ممکن است در غلظت‌های کم آفت‌کش، عددی منفی فرض شود. به‌صورت پیش‌فرض تابع g مقدار $1/\Delta t$ فرض می‌شود، که نشان می‌دهد مقدار پیش‌فرض برای f_τ مقدار عددی یک است، یعنی به‌طور پیش‌فرض، هیچ دوره تأخیری فرض نمی‌شود. به‌طور پیش‌فرض، برای توابع f_t و f_h فرض شده است که مقدار توابع پیش‌فرض مربوطه برای مدل-MIT مورد تایید است.

۲-۳۱- جذب توسط ریشه

جذب آفت‌کش‌ها توسط ریشه مانند یک فرایند مجهول غیرفعال فرض می‌شود؛ یعنی آفت‌کش‌ها با جریان تعرق به سمت سطوح ریشه منتقل می‌شوند که در آنجا جذب می‌گردند. با این‌حال، آفت‌کش‌ها

ممکن است همیشه وقتی به ریشه می‌رسند، وارد ریشه نشوند. این، توسط معرفی یک ضریب انعکاس تعریف می‌شود، از این‌رو جذب آفت‌کش‌ها به این صورت شبیه‌سازی می‌شود.

$$I_P = (1 - \rho) q_r C$$

که در آن I_r جذب آفت‌کش در واحد طول ریشه، q_r جریان تعرق یا جریان آب در سطوح ریشه و ρ ضریب انعکاس (مقدار پیش‌فرض ۱=ρ، یعنی هیچ آفت‌کشی توسط ریشه‌های گیاه جذب نمی‌شود).

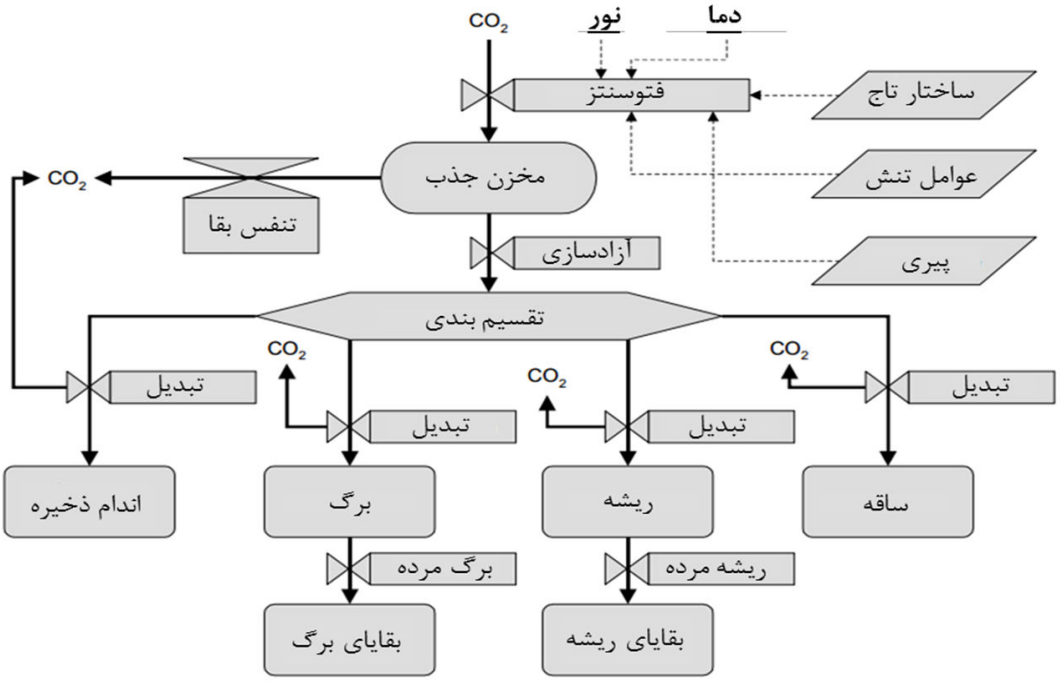
۲-۳۲- انتقال جذب سطحی و شست‌وشو

فرض می‌شود جذب سطحی آنی رخ می‌دهد و می‌تواند توسط هر یک از ایزوترم‌های فرندلیچ یا لیگمور توصیف گردد. همان‌طور که در مدل بیلان املاح بیان شد. حرکت آفت‌کش در بخش مربوط به بیلان املاح توصیف شده است.

۲-۳۳- مدل محصول

مدل محصول از توانایی‌های مدل Daisy برای رسیدن به فرمول‌بندی چندگانه از همان مدل، استفاده کرده است. Daisy شامل یک مدل محصول اصل[1] است که توسط هانسن و همکاران (Hansen et al., 1990) و پِترسِن و همکاران (Petersen et al., 1995) با جزئیات تعریف شده است. علاوه بر این، یک مدل محصول با جزئیات بیشتر گنجانده شده است. این مدل در زیر ارائه شده است:

1 Original



شکل ۲-۸ بررسی اجمالی از جریان کربن در مدل محصول پیش‌فرض گنجانده شده در Daisy

شکل ۲-۸ نگاه اجمالی از جریان کربن در مدل جدید ارائه می‌دهد. در شکل خطوط پررنگ[1] جریان ماده و خطوط خط‌چین[2] جریان اطلاعات را نشان می‌دهد. تقسیم‌بندی، برگ و ریشه مرده، پیری[3]، تنش (عوامل تنشِ) نیتروژن یک ساختار تاج، توسط مرحله توسعه (که در نمودار نشان داده نشده) تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

1 Solid
2 Dashed
3 Senescence

۲-۳۴- توسعه رشد[1]

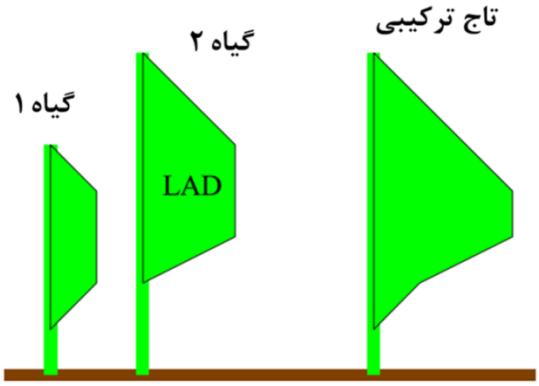
مرحله توسعه یک محصول، DS، کمیت سِن فیزیولوژیکی آن است و مربوط به ظاهر ساختاری[2] آن است. در مدل محصول Daisy ، مقدار DS برای مراحل اولیه، صفر و برای دوره‌ی گل‌دهی ۱ و در زمان محصول‌دهی ۲ است. شدت توسعه رشد تحت تأثیر تعدادی از عوامل محیطی است. با این حال مدل، تنها اثر دما و طول روز را به حساب می‌آورد. اولین مورد (اثر دما) از مرحله توسعه مقدماتی (DS=۰) تا مرحله محصول‌دهی (DS=۲) تأثیرگذار است، در حالی‌که دومی (طول روز) ممکن است تنها در مرحله رویشی گیاه یعنی از DS صفر تا یک تأثیرگذار باشد. فرض پایه بر این است که رشد گیاه در هر دوره هیچ تأثیری بر روی شدت توسعه‌ی رشد ندارد.

افزایش روزانه مرحله توسعه، ΔD، از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta D = df_t(T_a)f_d(D_l)$$

که در آن d شدت توسعه در دمای مرجع و طول روز مرجع است، $f_t(T_a)$ و $f_d(D_l)$، به‌ترتیب اصلاح‌کننده‌های محاسباتی برای دمای هوا (T_a) و طول روز (D_l) هستند. توابع اصلاح کننده از درون‌یابی خطی بین مقادیر جدول‌بندی شده واکنش نسبت به عوامل محیطی به‌دست می‌آید. روش اتخاذ شده قابل انعطاف است و این امکان را فراهم می‌کند که شرح مربوط به یک روش ساده درجه–روز[3] همانند بسیاری از واکنش‌های پیچیده باشد.

1 Phenological development
2 Morfological
3 A simple degree-day approach



شکل ۲-۹ ساختار تاج

۲-۳۵- ساختار تاج

در مدل، ساختار تاج توسط توزیع سطح برگ (LAD) به‌عنوان تابعی از ارتفاع بوته گیاه تعریف می‌شود (شکل ۲-۲۹). شاخص سطح برگ (LAI)، انتگرال مقدار LAD در راستای ارتفاع است. LAI به‌صورت معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$L_{ai} = S_{la} W_{leaf}$$

که در آن L_{ai} همان LAI است، S_{la} سطح برگ ویژه است که به‌صورت تابعی از DS فرض می‌شود و W_{leaf} وزن برگ است. ساقه و اندام‌های ذخیره نیز ممکن است در شاخص سطح برگِ مؤثر دخیل باشند. سهم آن‌ها در مقایسه با سهم واقعی برگ، با استفاده از مساحت ویژه و وزن ساقه و اندام‌های هوایی محاسبه می‌شود. علاوه بر این، عامل وزن محاسبه شده برای راندمان‌های فتوسنتزی مختلف مانند ساقه، اندام‌های ذخیره و برگ در محاسبه LAI مؤثر استفاده می‌شود. عامل وزن به‌عنوان نسبت بین سرعت فتوسنتز در شدت نور اشباع برای ساقه و اندام‌های ذخیره به مقدار متناظر آن برای برگ، محاسبه می‌شود. اگر پارامترهای مورد نیاز مفقود شده باشد، آن‌گاه از سهم ساقه و اندام‌های گیاهی چشم‌پوشی می‌شود. LAD از LAI مؤثر و توزیع LAD نسبی که به‌صورت تابعی از DS تعریف شد، محاسبه می‌شود. وقتی بیش از یک گیاه موجود باشد، LAD تاج ترکیبی با افزودن توزیع LAD تک تک گیاهان به‌دست می‌آید (شکل ۲-۹).

۲-۳۶- فتوسنتز

مدل فتوسنتز بر اساس محاسبه توزیع نور درون تاج (یا در تاج مرکب) و منحنی پاسخ به نور واحد[1] است. توزیع نور در تاج بر اساس قانون بیر[2] محاسبه می‌شود. ضریب خاموشی[3]، یک ویژگی برای یک محصول معین فرض می‌شود و ضریب خاموشی برای تاج مرکب به‌صورت میانگین وزنی ضریب خاموشیِ تک تک گیاهان محاسبه می‌گردد. عامل وزنی بر اساس LAI تک تک گیاهان است. ضرایب بازتاب نور نیز مختص به گیاه است و ضریب بازتاب برای گیاه مرکب همانند روش ضریب خاموشی محاسبه می‌شود. در محاسبه توزیع نور، تاج به n لایه متمایز تقسیم می‌شود که هر کدام شامل 1/n از کل LAI است. با اعمال قانون بیر می‌توان جذب نور در لایه‌ی iام را محاسبه کرد:

$$S_{a.i} = (1 - \rho_c)S_{v.0}\left(e^{-K_c(i-1)\Delta L_{ai}} - e^{-K_c i \Delta L_{ai}}\right)$$

که در آن i و S_a جذب نور در لایه iام، P_c ضریب بازتاب تاج، $S_{r,0}$ نور تابشی[4] از بالای تاج، K_c ضریب خاموشی و $\Delta L_{a.i} = L_{a.i}/n$ که L_{ai}، LAI هر لایه است. هنگامی‌که تاج شامل بیش از یک گیاه باشد، نور جذب شده اختصاص یافته به لایه خاصی از تاجِ هر گیاه، متناسب است با نسبت سهم هر گیاه مورد بررسی به LAI کل در هر لایه.

فتوسنتز خالص[5] برای، لایه به لایه‌ی هر یک از گیاهان، با اعمال منحنی پاسخ به نور محاسبه می‌شود.

$$AF_i = x\Delta L_{ai}F_m\left(1 - \exp\left(-\frac{\varepsilon}{F_m}\frac{S_{ai}}{\Delta L_{ai}}\right)\right)$$

که در آن ΔF_i فتوسنتز خالص برای لایه i از گیاه مورد بررسی است، x کسری شاخص سطح برگ گیاه مورد بررسی، F_m سرعت فتوسنتزی ویژه گیاه در شدت نور اشباع و ε راندمان استفاده نور اولیه متناظر در شدت کم است. F_m ثابت نیست و به‌صورت تابعی از دما فرض می‌شود، که در شکل ۲-۸ اثر دما بر فتوسنتز نشان داده شده است. فتوسنتز خالص از مجموع سهم تک تک لایه‌ها محاسبه می‌شود. گام زمانی در این قسمت مدل، یک ساعت است و تبدیل تولیدات جذب فتوسنتزی[6] به ذخایر کربوهیدرات به‌صورت ساعتی است (شکل۲-۸).

1 single light response crave
2 Beer
3 Extinction coefficient
4 Incident light
5 Gross photosynthesis
6 Assimilate

۲-۳۷- تقسیم‌بندی جذب فتوسنتزی، تنفس و تولید خالص

تنفس به دو صورت تنفس برای رشد و بقا فرض شده است (McCree, 1974). فرض می‌شود تنفس بقا[1] نسبت به تنفس برای رشد[2] الویت دارد؛ از این رو، تنها زمانی محصول تولید می‌شود که ذخایر کربوهیدرات در دسترس، بیش از تنفس مورد نیاز برای بقا باشد. اگر ذخیره کربوهیدرات مازاد وجود داشته باشد، آن‌گاه این مقدار مازاد بین اجزای مورد بررسی گیاه مانند ریشه، ساقه، برگ و اندام‌های ذخیره‌سازی تقسیم می‌شود، و برای برآورد تولید خالص، تنفس برای رشد از آن کم می‌گردد.

۲-۳۸- تنفس برای بقا

فرض می‌شود که تنفس برای بقا متناسب با وزن خشک اجزای گیاه است و هر جزء توسط یک ضریب تنفس بقا که وابسته به دما است، توصیف می‌شود:

$$R_m^{Component} = r_m^{Component}(T)W_{Copmponent}$$

که در آن R_m تنفس برای بقا، $r_m(T)$ ضریب تنفس بقا در دمای T، و W وزن خشک جزء مورد بررسی گیاه است. تنفس بقا محصول جمع تنفس بقا نشأت گرفته از تنفس بقای تک تک اجزای گیاه است.

۲-۳۹- تقسیم‌بندی جذب فتوسنتزی

مدل تنها گیاهان محدودی را بررسی می‌کند. علاوه بر این، فرض بر این است که عامل تنفس بر تقسیم‌بندی جذب فتوسنتزی تأثیری ندارد؛ از این رو، می‌توان فرض نمود که تقسیم‌بندی تنها تابعی از DS است. مدل تقسیم‌بندی با استفاده توابع قطعه قطعه خطی تعریف می‌شود، $\gamma_r(DS)$، $\gamma_s(DS)$، $\gamma_l(DS)$ و $\gamma_o(DS)$ به ترتیب، نشان‌دهنده‌ی تخصیص به ریشه، ساقه، برگ و اندام ذخیره است. توجه شود که ابتدا $\gamma_r(DS)$، به ریشه و سپس $\gamma - 1_r(DS)$ به جوانه زدن اختصاص می‌یابد، که فرض می‌شود شامل ساقه، برگ و اندام‌های گیاهی است. سپس میزان تخصیص یافته به جوانه زدن میانِ ساقه، برگ و اندام گیاهی توزیع می‌شود از این رو $\gamma_s(DS)+\gamma_l(DS)+\gamma_o(DS)=1$.

1 Maintenance respiration
2 growth respiration

۲-۴۰- تنفس برای رشد

فرض می‌شود که سرعت تنفس برای رشد فقط به محصول نهایی تولید شده بستگی دارد، از این رو، می‌توان آن را توسط یک راندمان تبدیل توصیف نمود. بعد از کسر کردن مقدار تنفس برای رشد، تولید خالص برای اجزای خاص گیاه به این صورت برآورد می‌شود:

$$\left(\frac{\Delta W_{Component}}{\Delta t}\right) = E^{Component}\gamma^{Component}\left(F - \sum_{j}^{Component} R_m^j\right)$$

که در آن ($\Delta W/\Delta t$) نرخ تولید خالص، E راندمان تبدیل، **γ** کسری از جذب فتوسنتزی اختصاص یافته به جزء مورد بررسی از گیاه (جزء=ریشه، برگ، ساقه و اندام ذخیره)، F جریان جذب فتوسنتزی از ذخایر کربوهیدرات است. F طی یک فرایند خطی از مخزن ذخیره کربوهیدرات آزاد می‌شود.

۲-۴۱- پیری

همان‌طور که در شکل ۲–۸ نشان داده شده، فرض شده است که مواد ریشه و برگ صرف رشد برای پیری و سایه‌اندازی[1] می‌شود. سرعت صرف شدن مواد جهت رشد، متناسب با وزن برگ فرض می‌شود. عامل تناسب به دو جزء تقسیم می‌شود. یکی از اجزای تابع قطعه قطعه خطی DS است. جزء دیگر ثابت بوده و تنها زمانی نقش دارد که تابش دریافت شده توسط برگ‌های سایه شده پایینی به زیر حد آستانه معین کاهش یابد، یعنی زمانی‌که انتقال نور کمتر از یک مقدار از پیش تعیین شده، که به‌طور معمول حدود ۵ درصد است (Montheith and Unsworth, 1990)، باشد.

۲-۴۲- تولید و توسعه ریشه

سیستم ریشه به‌صورت وزن ریشه، عمق ریشه، توزیع تراکم ریشه توصیف می‌شود. فرض می‌شود نفوذ ریشه زمانی صورت می‌گیرد که شرایط زیر وجود داشته باشد: ۱–تولید خالص روزانه ریشه مثبت باشد، ۲– دمای خاک در انتهای ریشه بالاتر از حد آستانه دما که معمولاً ۴ ℃ است، باشد؛ ۳– عمق واقعی ریشه کمتر از بیشینه عمق ریشه باشد. بیشینه عمق ریشه هم بر اساس خود گونه گیاهی و هم بر اساس خواص

1 shading

شیمیایی یا مکانیکی خاک محل مورد بررسی تعیین می‌شود. مقدار نفوذ روزانه ریشه ($\Delta d_r/\Delta t$) بر اساس تحقیق جاکوبسن (Jakobsen, 1976) به این صورت محاسبه می‌شود:

$$\left(\frac{\Delta d_r}{\Delta t}\right) = \begin{cases} 0 & T_s \le T_P \\ \alpha_r (T_s - T_P) & T_s > T_P \end{cases}$$

که در آن α_r پارامتر نفوذ ریشه، T_s دمای خاک در انتهای ریشه و T_p حد آستانه دما است. معادله استفاده شده برای برآورد پتانسیل همانند تعیین نفوذ واقعی ریشه است. عمق ریشه پتانسیل، مقدار عمق در شرایطی است که اگر خاک مانع نشود، نفوذ ریشه اتفاق می‌افتد. کل طول ریشه متناسب با وزن ریشه فرض می‌شود. توزیع تراکم ریشه پتانسیل مطابق با تحقیق گرویتز و پیج (Gerwitz and Page, 1974) به‌صورت نسبت تراکم ریشه به عمق ریشه پتانسیل تعریف می‌شود که برابر با ۰/۱ $cm\ cm^{-3}$ فرض می‌گردد. اگر عمق واقعی ریشه برابر با مقدار پتانسیل آن باشد، آن‌گاه توزیع تراکم واقعی ریشه برابر با مقدار پتانسیل آن است. در غیر این صورت، توزیع واقعی ریشه باز هم مطابق با توزیع گرویتز و پیج فرض می‌شود و تراکم ریشه در عمق ریشه واقعی برابر با تراکم به‌دست آمده از توزیع پتانسیل در همان عمق به‌کار می‌رود.

۲-۴۳- جذب آب و تنش آب

مدل تنش آب بر اساس این فرض است که جذب co_2 همراه با تعرق است، که توسط واکنش‌های روزنه‌ای کنترل می‌شود. علاوه بر این، فرض بر این است که زمانی که روزنه باز باشد، آب حائل شده از سطح برگ تبخیر می‌شود. این مفروضات منجر به تقریب زیر می‌گردد:

$$F_w = F_P \frac{E_t + E_i}{E_{t.P} + E_{i.P}}$$

که در آن F_w میزان فتوسنتز محدود شده از طریق آب است، F_p فتوسنتز پتانسیل، E_t و $E_{t,p}$ به ترتیب، تعرق واقعی و پتانسیل است و E_i و $E_{i,p}$ به ترتیب، تبخیر واقعی و پتانسیل آب حائل شده است.

۲-۴۴- جذب نیتروژن و تنش نیتروژن

حد بالای جذب نیتروژن توسط گیاه با استفاده از اختلاف بین مقدار محتوای نیتروژن پتانسیل، N_c^p، در محصول و محتوای نیتروژن واقعی، N_c^a، یعنی $N_c^a N_c^p -$ تعریف می‌شود. N_c^p به این صورت برآورد می‌شود:

$$N_c^P = \sum_j^{Components} {}^pC_j W_j$$

که در آن ${}^pC_j$ غلظت نیتروژن پتانسیل ویژه محصول در جزء مورد بررسی گیاه است (j= ریشه، برگ، ساقه و اندام ذخیره) و W_j وزن خشک ماده مربوطه است. غلظت نیتروژن پتانسیل ویژه محصول تابعی از DS است. جذب پتانسیل تعیین شده بر اساس تقاضای محصول، U_d، به این صورت است:

$$U_d = \frac{N_c^P - N_c^a}{\Delta t}$$

که در آن Δt گام زمانی مورد بررسی است. جذب واقعی توسط محصول در بخشی از بیلان نیتروژن آورده شده است. هرچه محتوی نیتروژن گیاه، N_c^a، بیشتر از مقدار بحرانی ویژه N_c^c باشد، یعنی هیچ تنش نیتروژنی وجود ندارد. مقدار بحرانی به‌صورت زیر برآورد می‌شود:

$$N_c^c = \sum_j^{Components} {}^cC_j W_j$$

که در آن ${}^cC_j$ غلظت نیتروژن بحرانی ویژه در جزء مورد بررسی گیاه (ریشه، برگ، ساقه و اندام ذخیره) است. غلظت نیتروژن بحرانی ویژه تابعی از DS است. با این‌حال اگر N_c^a کمتر از مقدار بحرانی ویژه، N_c^c باشد، تنش رخ می‌دهد. فرض بر این است که تنش نیتروژن بر فتوسنتز خالص تأثیرگذار است:

$$F_n = F_w \frac{N_c^a - N_c^n}{N_c^c - N_c^n}$$

که در آن F_n فتوسنتز خالص محدود شده با نیتروژن است و N_c^n به اصطلاح، محتوای نیتروژن غیرتابعی[1] گیاه است که همانند محتوای نیتروژن بحرانی محاسبه می‌شود که فقط به جای غلظت بحرانی در معادله (۱.۹۵) غلظت غیرتابع مربوطه جاگذاری می‌شود.

۲-۴۵- مدل مدیر۲

مدل مدیر Daisy را می‌توان به‌عنوان یک زبان ویژه بررسی نمود که قابلیت ساخت سناریوهای نسبتاً پیچیده از فعالیت‌های مدیریتی را دارد. زبان مدیریتی شامل دو جزء زبانی متفاوت است، یعنی فعالیت‌های مدیریتی مستقیم که در شکل ۲–۵ نشمعاذلان داده شده و بیانات شرطی از نوع اگر– آن‌گاه– دیگر[3] یا

1 Non-function nitrogen content
2 Manager Model
3 if-then-else

صبر کنید- تا[1] و غیره است. عبارات شرطی این امکان را فراهم می‌آورد که اجرای اقدامات مدیریتی کنترل شوند؛ به‌عنوان مثال تنها با اعمال شرایط خاصی، اجازه آبیاری داده می‌شود، زمانی است که پتانسیل فشاری آب خاک در یک عمق معین، کمتر از حد مشخص باشد و گیاه در یک مرحله توسعه خاص از چرخه زندگی خود باشد. ساخت زبان مدیریتی، همچنین باعث تعریف فعالیت‌های ترکیبی بر اساس مقادیر پارامتری فعالیت‌های ساده می‌شود. عملیات خاک‌ورزی در جدول ۲-۵ ترکیبی از چنین عملیاتی است که از مقادیر پارامتری فعالیت‌های ساده‌ی تبادل swap و ترکیب کردن mix ساخته می‌شود. عمل کوددهی fertilization به دو صورت ویژه (… fertilization (mineral و (… fertilization (organic است. کلمات کلیدی mineral و organic توصیفی از دو نوع بسیار متفاوت کوددهی را بیان می‌کند و به ترتیب، به معنای کوددهی معدنی و آلی است. "لجن خوک[2] " یک مقدار پارامتری ویژه از دومی (کوددهی آلی) است که تمام پارامترهای موردنیاز آن به جز مقدار لجن اختصاص یافته را به‌صورت کتابخانه ورودی تحت عنوان "pig slurry"داده شده است. کلمات کلیدی from و to که در عمل کوددهی می‌آید، نشان‌دهنده این است که کوددهی در خاک بین دو عمق داده شده با این کلمات کلیدی، اعمال شده است.

یک نمونه از سناریوی مدیریتی ساده در جدول ۲-۶ نشان داده شده است. کلمه کلیدی activity، به مدیر می‌گوید که یک لیست از فعالیت‌های مدیریتی در ادامه آورده شده است. هر فعالیت تنها یک بار اجرا می‌شود. سمت چپ جدول فعالیت‌های شرطی و سمت راست جدول فعالیت‌های مدیریتی مستقیم را نشان می‌دهد. از نقطه نظر استدلالی تمام فعالیت‌ها در یک سطح هستند. اولین فعالیت انتظار تا تاریخ ۱۹۸۷/۳/۲۰ ساعت ۸ صبح است. فعالیت بعد آن، شخم زدن است. اقدام بعدی دوباره انتظار تا یک زمان معین است و فعالیت بعد از آن، کوددهی (۱۰۰ kg N/ha، که ۵۰ درصد به شکل آمونیوم و باقی به شکل نیترات) است و به‌همین ترتیب الی آخر. عبارت(crop_ds_after "Spring Barley" 2.0) به مدیر می‌گوید که صبر کند تا جوی بهاره برسد (مرحله ۲ توسعه فرا می‌رسد) و سپس برداشت محصول (فعالیت بعدی) است. سپس مدیر ۷ روز منتظر می‌ماند و ۱۰ t pig slurry/ha در عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری تزریق می‌کند.

ساخت سناریوهای مدیریتی پیچیده، شامل مقادیر پارامتری تخصصی از فعالیت‌های مدیریتی است که نیازمند اطلاعات دقیق از علم نحو[3] و کلمات کلیدی از زبان مدیریتی است. شرح مفصل آن توسط آبراهامسن (Abrahamsen, 1999) ارائه شده است.

1 wait-until
2 Pig slurry
3 Syntax

جدول ۲–۵ اقدامات مدیریتی مهم مشمول در واحد مدیر Daisy

فعالیت	توضیحات
sow “Spring Barley”	”Spring Barley“ جوی بهاره یکی از تخصیص‌های مدل گیاهی پیش‌فرض است.
harvest “Spring Barley ” (stub 5.0) (leaf 1.0) (stem 1.0) (sorg 1.0)	برداشت جوی بهاره به‌صورتی که ۵ سانتی‌متر از پوشال (stub) باقی مانده و برگ (leaf)، ساقه (Stem) و دانه (Sorg) از مزرعه جمع‌آوری شده است
Fertilize (mineral (weight 90.0) (NH4_fraction 1.00) (volatilization 0.2))	اعمال ۹۰ kg N/ha به‌صورت آمونیوم و فرض اینکه ۲۰ درصد آن صرف تبخیر می‌شود.
Fertilize (“Pig Slurry” (weight 20)) (from -5) (to -15)	تزریق ۹۰ t ww/ha لجن خوک (در عمق ۵–۱۵ cm). لجن خوک یکی از تخصیص‌های مدل کوددهی **آلی** است.
Spray Bentazone 2800	پاشش: ۲۸۰۰ g bentazone/ha
Irrigate_surface 30	آبیاری سطحی: ۳۰ میلی‌متر
Irrigate_top 30	آبیاری از بالای گیاه (بارانی): ۳۰ میلی‌متر
Plowing disk_harrowing Seed_bed_preparation	عملیات خاک‌ورزی یکی از تخصیص‌های فعالیت‌های اولیه **تبادل** (swap) و **ترکیب** (mix) است

جدول ۲-۶ یک نمونه سناریوی مدیریتی

```
(manager activity
  (wait  (at  1987  03  20  8))        (plowing
  (wait  (at  1987  04  04  8))        (Fertilize (mineral (weight  100))
                                                  (NH4_fraction  0.50))
  (wait  (at  1987  04 06  8))         (sow "Spring Barley")
                                       (sow  Grass)
  (wait   (crop_ds_after
        "Spring Barley"  2.0))         (harvest    "Spring Barley")
 (wait_day   7)                        (Fertilize    ("Pig Slurry" (weight  10))
                                                    (from  -10)  (to  -20)
  (wait  (at  1987  10  01  8))        (harvest   Grass  ((stub  8))
  (wait  (at  1988  01  04  1))        (Stop))
```

۲-۴۶- نتایج اظهار شده

سیستم خاک- گیاه- اتمسفر مدل Daisy توصیف شده است. هدف از این مدل شبیه‌سازی آب، گرما و بیلان املاح است و تولید گیاه در بوم‌سازگاری زراعی است که در معرض راه‌کارهای مدیریتی متفاوت است. املاح مشمول شامل نیتروژن نوع آمونیوم و نیترات و مواد شیمیایی-کشاورزی مانند آفت‌کش‌ها است.

این مدل به خصوص برای مدل کردن آلودگی غیرنقطه‌ای در حوزه‌های آبی[1] در کشاورزی بسیار مناسب است زیرا:

- مدل می‌تواند در یک شرایط توزیع شده کار کند، با امکان شبیه‌سازی شرایط مختلف از نظر خاک و مدیریت کشاورزی موجود در حوزه آبی
- مدل می‌تواند با یک مدل حوضه آبریز هیدرولیکی کامل توزیع شده پیوند داده شود، با قابلیت شبیه‌سازی در خاک، آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی.
- مدل، فرایند جایگزین را برای فرایندهای انتخابی پیشنهاد می‌دهد. گزینش توصیف فرایند انتخابی در مقادیر پارامتری مدل انجام می‌شود. گزینش می‌تواند بر اساس اطلاعات در دسترس و منابع موجود در قالب زمان کامپیوتری باشد.

1 Watershed

منابع

Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'connell, P.E. and Rasmussen, J. (1986) An introduction to The European Hydrological System - Systéme Hydrologique Européen "SHE" 2: Structure of a physically based distributed modelling system. Journal of Hydrology 87, 61!77.

Abrahamsen, P. (1999): Daisy Program Reference Manual. Dina Notat No. 81. URL:http://www.dina.kvl.dk/~Daisy /.

Abrahamsen, P. and Hansen, S. (2000) Daisy: An Open Soil-Crop-Atmosphere System Model. Environmental Modelling and Software.

Addiscott, T.M. (1983): Kinetics and temperature relationships of mineralization and nitrification in Rothamsted soils with different histories. J. Soil Science 34, 343-353.

Anderson, D.W. (1979): Processes of humus formation and transformation in soils of the Canadian Great Plains. J. Soil Sci. 30: 77-84.

Baldwin, J.P., P.H. Nye and P.B. Tinker (1973): Uptake of solutes by multiple root system from soil. III. A model for calculating the solute uptake by a randomly dispersed root system developing in a finite volume of soil. Plant and Soil 38, 621-635.

Blicher-Mathiesen, G., Grant, R., Jensen, C. and Nielsen, H. (1990) Landovervågningsoplande. Faglig rapport fra DMU, nr. 6.

Blicher-Mathiesen, G., Nielsen, H., Erlandsen, M. and Berg, P. (1991) Kvælstofudvaskning og udbytte ved ændret landbrugspraksis, Modelberegninger med rodzonemodellen DAISY . Faglig rapport fra DMU, nr. 27.

Brooks, R.H. and Corey, A.T. (1964): Hydraulic properties of porous media. Hydrological Paper # 3. Colorado State University, Ft. Collins, Co.

Brunt, D. (1932). Notes on radiation in the atmosphere. Quart.J.Royal Meteorol. Soc., 58, 389- 420.

Brutsaert, W. (1975) On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. Water Res Resour. Res. 11,742-744.

Burdine, N.T. (1952): Relative permeability calculations from pore-size distribution data. Trans. AIME 198:35-42.

Burger, H.C. (1919): Das Leitvermögen verdünter mischkristallfreier Legirungen. Physikalische Zeitscrift 20, 73-75.

Campbell, G.S. (1974): A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. Soil Sci. 117:311-314.

Cambell, C.A., R.J.K. Meyers and K.L. Weier (1981): Potential mineralizable nitrogen, decomposition rates and their relationships to temperature for five Quensland soils. Austr. J. Soil Res. 19, 323-332.

Celia, M.A. and Bouloutas, E.T (1990) A general mass-conservative numerical solution for the unsaturated flow equation. Water Resour. Res. 26, 1483-1496.

Corps of Engineers (1956): Snow hydrology. North Pacific Division, U.S. Army Corps of Engineers, Portland, Oregon, U.S.A.

Diekkrüger, B., Söndgerath, D., Kersebaum, K.C. and McVoy, C.W. (1995) Validity of agroecosystem models. A comparison of results of different models applied to the same data set. Ecological Modelling 81, 3!29.

EEA (1995) Europe=s Environment. The Dobris Assessment. The European Agency, Copenhagen.

FAO (1990). Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Annex V. FAO Penman-Monteith Formula.

Fillery, I.R.P. (1983): Biological denitrification. In: Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. The Hague.

Flowers, H. and J.R. O'Callaghan (1983): Nitrification in soils incubated with pig slurry or ammonium sulphate. Soil Biol. Biochem. 15, 337-342.

Focht, D.D. and W. Verstraete (1977): Biochemical ecology of nitrification and denitrification. In: Advances in Microbiol Ecology, vol. 1. Plenum Press, New York.

Gerwitz, S. and E.R. Page (1974): An empirical mathematical model to describe plant root systems. J. Appl. Ecol. 11, 773-781.

Hansen, S. (1984): Estimation of potential and actual evapotranspiration. Nordic Hydrol. 15, 205- 212.

Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E. and Svendsen, H. (1990) DAISY : Soil Plant Atmosphere System Model. NPO Report No. A 10. The National Agency for Environmental Protection, Copenhagen, 272 pp.

Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E. and Svendsen, H., (1991a) Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model Daisy . Fert. Res. 27, 245!259.

Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E. and Svendsen, H., (1991b) Simulation of nitrogen dynamics in the soil plant system using the Danish simulation model Daisy . In: Hydrological Interactions Between Atmosphere, Soil and Vegetation. Eds.: Kienitz,G., P.C.D. Milly, M.Th.van Genuchten, D. Rosbjerg and W.J. Shuttleworth. IAHS Publication No. 204:185!195.

Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E. and Svendsen, H. (1991c) Simulation of biomass production, nitrogen uptake and nitrogen leaching by using the Daisy model. In: Soil and Groundwater Research Report II: Nitrate in Soils, 1991: 300!309. Final Report on Contracts EV4V-0098-NL and EV4V-00107-C. DG XII. Commission of the European Communities.

Hansen, G.K., Jensen, N.H., Jensen, C., Stougaard, B. and Platou, S.W. (1992) Jordbundsvariation og jordbonitet i Danmark. In: Tidskrift for Planteavl

Specialserie, Beretning S2224, (Ed. S.A. Mikkelsen), Braklægning, Planteproduktion og Miljø.

Hansen, G.K. and Svendsen, H. (1994) Modelberegninger og optimering af N-balancer i sædskifter for svinebrug på lerjord, vandet og uvandet sandjord. SP rapport Nr. 15, Statens Planteavlsforsøg.

Hansen, G.K. and Svendsen, H. (1995a) Optimizing of nitrogen application on pig farms by simulation. In Modelling the fate of agrochemicals and fertilizers in the environment (Ed. C. Giupponi, A. Marani and F. Morari), Proceedings of the International Workshop in Venice (Italy), 3-5 March 1994.

Hansen, G.K. and Svendsen, H. (1995b) Udbytter og kvælstofudvaskning. Systemanalyser med Daisy -modellen af N-balancer. SP rapport Nr. 12. Statens Planteavlsforsøg.

Hansen, G.K. and Svendsen, H. (1995c) Nitrogen Balances influenced by Farm Management, Soil Types and Climate. In: Proceedings of the Seminar on Site Specific Farming (Ed. S.E. Olesen), SP-Report No. 26, Danish Institute of Plant and Soil Science, pp 181!185.

Hopmans, J.W. and J.H. Dane (1986): Thermal conductivity of two porous media as a function of water content temperature, and density. Soil Sci. 142, 187-195.

Hansen, S., Thorsen, M., Pebesma, E.J., Kleeschulte, S. and Svendsen, H. (1999) Uncertainty in simulated leaching due to uncertainty in input data. A case study. Soil Use and Management 15, 167-175.

Herkelrath, W.N., Miller, E.E., and Gardner, W.R. (1977) Water uptake by plants II: The root contact model. Soil Sci. Soc. Am.. J. 41, 1039-1043.

Idso, S.B., and Jackson, R.D. (1969) Thermal radiation from the atmosphere. J. Geophys. Res. 74, 5397-5403.

Jakobsen, B.F. (1976): Jord, rodvækst og stofoptagelse. In: Simuleret planteproduktion. Hydroteknisk Laboratorium, Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, København.

Jansson, P.-E. and S. Halldin (1980): Soil water and heat model. Technical description. Technical Report 26, 1980. Swedish Coniferous Forest Project. Dept. of Ecology and Environment Research. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.

Jenkinson, D.S. and J.H. Rayner (1977): The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. Soil Sci. 123, 298-305.

Jenkinson, D.S., P.B.S. Hart, J.H. Rayner and L.C. Parry (1987): Modelling the turnover of organic matter in long-term experiments at Rothamsted. Intecol Bulletin 15, 1-18.

Jensen, H.E.,Hansen S., Stougaard, B., Jensen, C.,Holst, K. and Madsen, K.B. (1993): Using GIS-Information to translate soil type patterns to agro-ecosystem management- the Daisy model. In: Eijsackers, H. J. P. and Hamers, T. (eds.):

Integrated Soil and Sediment Research: A Basis for proper Protection. Kluwer Academic Publishers, 401-428.

Jensen, C., Stougaard, B. and Jensen, N.H. (1992) The Integration of Soil Classification and Modelling of N-balances with the DAISY model. In H.J.P. Eijsackers and T. Hamers (eds.): Integrated Soil and Sediment Research: A Basis for proper Protection, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 512!514.

Jensen, C. and Østergaard, H.S. (1993) Nitratudvaskning under forskellige dyrkningsforhold. In: Oversigt over landsforsøgene (C.Å.Pedersen), Landsudvalget for Planteavl.

Jensen, C., Stougaard, B. and Olsen, P. (1994a) Simulation of nitrogen dynamics at three Danish locations by use of the DAISY model. Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Science, 44, 75!83.

Jensen, C., Stougaard, B. and Østergaard, H.S. (1994b) Simulation of the nitrogen dynamics in farm land areas in Denmark 1989!1993. Soil Use and Management, 10, 111!118.

Jensen, C., Stougaard, B. and Østergaard, H.S. (1996) The performance of the Danish simulation model DAISY in prediction of Nmin at spring. Fert. Res. 44:79!85.

Jensen, L.S., Mueller, T., Nielsen, N. E., Hansen, S., Crocker, G. J., Grace, P. R., Klir, J., Körschens, M. and Poulton, P. R. (1997) Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the soil-plant-atmosphere model DAISY . Geoderma 81, (1!2), 5!28.

Jensen, S.E. (1979): Model ETFOREST for calculating actual evapotranspiration. In: Comparison of forest water and energy exchange models. Proc. IUFRO (Int. Un. Forestry Res. Org.) Workshop, Uppsala 1978. Publ. Int. Soc. for Ecol. Modelling, Copenhagen 1979, 165-172.

Kempner, W. (1937): The effect of oxygen tensions on cellular metabolism. J. Cellular and Comp. Physiol. 10, 339-363.

Kimball, B.A., R.D. Jackson, R.J. Reginato, F.S. Nakayama and S.B. Idso (1976): Comparison of field-measured and calculated soil-heat fluxes. Soil Sci. Soc. Amer. J. 40, 18-24.

Keur, P. Van der, Hansen, S., Schelde, K., and Thomsen, A. (2000): Modification of DAISY SVAT model for potential use of remotely sensed data. Agric. Met.

Lind, A.-M. (1980): Denitrification in the root zone. Tidsskrift for Planteavl 84, 101-110.

Lind, A.-M., K. Debosz, J. Djurhuus og M. Maag (1990): Kvælstofomsætning og -transport i to dyrkede jorde. NPO-forskning fra Miljøstyrelsen. Rapport Nr. A9, 1990.

Magid, J. and Kølster, P. (1995) Modelling Nitrogen Cycling in an Ecological Crop Rotation - an Explorative Trial. Nitrogen Leaching in Ecological Agriculture, 77!87.

Makkink, G.F. (1957): Ekzameno de la formula de Penman. Neth. J. Agric. Sci. 5, 290-305

McCree, K.J. (1974): Equation for the rate of dark respiration of white clover and grain sorghum, as a function of dry weight, photosynthesis rate and temperature. Crop Science 14, 509-514.

Miller, R.D. (1980): Freezing phenomena in soils. In: Application of soil physics. Academic Press 1980.

Miller, R.D. and D.D. Johnson (1964): The effect of soil moisture tension on carbon dioxide evolution, nitrification and nitrogen mineralization. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24, 644-647.

Millington, R.J. and J.P. Quirk (1960): Transport in porous media. Int. Congr. Soil Sci. Trans. 7th (Madison, Wisconsin), 3, 97-106.

Mogensen, V.O. (1969): Varmeledningsevne i jorden og kalibreringsfaktorer for heat flux metre på Klimastationen. Hydroteknisk Laboratorium. Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, København 1969.

Monteith, J.L. & Unsworth, M.H. (1990) Principles of Environmental Physics. Routlede, Chapman and Hall, USA. ISBN 0-7131-2931-X. p 291.

Mualem, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resour. Res., 12. 513-522.

Mueller, T., Jensen, L.S, Magid, J., Nielsen, N.E. (1997) Temporal variation of C and N turnover in soil after oilseed rape incorporation in the incorporation in the field: simulation with the soil-plant-atmosphere model Daisy . Ecological Modelling 99, 247-262.

Mueller, T., Jensen, L.S., Nielsen, N.E. and Magid, J. (1998) Turnover of carbon and nitrogen in a sandy loam soil following incorporation of chopped maize plants, barley straw and blue grass in field, Soil biol. Biochem., 30, 561-571.

Møberg, J.P., Petersen, L. and Rasmussen, K. (1988) Constituents of Some Widely Distributed Soils in Denmark, Geoderma 42, 295-316.

Orchard, V.A. and F.J. Cook (1983): Relationships between soil respiration and soil moisture. Soil Biol. Biochem. 15, 447-453.

Parr, J.F. and H.W. Reuszer (1959): Organic matter decomposition as influenced by oxygen level and method of application to soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23, 214-216.

Petersen, C.T., Jørgensen, U., Svendsen, H., Hansen, S., Jensen, H.E. and Nielsen, N.E. (1995) Parameter assessment for simulation of biomass production and nitrogen uptake in winter rape. Eur. J. Agron., 4(1), 77!89.

Reichman G.A., D.L. Grunes and F.G. Viets (1966): Effect of soil moisture on ammonification and nitrification in two northern plain soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30, 363-366.

Refsgaard, J.C., Thorsen, M., Jensen, J.B., Kleeschulte, S., and Hansen, S. (1999) Large scale modelling of groundwater contamination from nitrate leaching. J. Hydrol. 221, 117-140.

Richard, L.A. (1931): Capillary conductivity of liquids in porous mediums. Physics 1, 318-333.

Rolston, D.E., P.S.C. Rao, J.M. Davidson and R.E. Jessup (1984): Simulation of denitrification losses of nitrate fertilizer applied to uncropped, cropped and manure-amended field plots. Soil Science 13, 270-279.

Sabey, B.R. (1969): Influence of soil moisture tension on nitrate accumulation in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33, 263-266.

Satterlund, D.R. (1979) An improved equation for estimating long-wave radiation from the atmosphere. Water Resour. Res. 15, 1649-1650.

Schouwenburg, J. Ch. van and A.C. Schuffelen (1963): Potassium-exchange behaviour of an illite. Neth. J. Agric. Sci. 11, 13-22.

Sepaskhah, A.R. and L. Boersma (1979): Thermal conductivity of soils as function of temperature and water content. Soil Sci. Soc. Am. J. 43, 439-443.

Shuttleworth, W.J. & Wallace, J.S. (1985). Evaporation from sparse crops-an energy combination theory. Quart.J.R.Met.Soc. (1985), 111, pp. 839-855.

Shuttleworth, W.J. & Gurney, R.J. (1990). The theoretical relationship between foliage temperature and canopy resistance in a sparse crop. Quart.J.R.Met.Soc. (1990), 116, pp. 497-519.

Smith, P., Smith, J.U., Powlson, D.S., Arah, J.R.M., Chertov, O.G., Coleman, K., Franko, U., Frolking, S., Gunnewiek, H.K., Jenkinson, D.S., Jensen, L.S., Kelly, R.H., Li, C., Molina, J.A.E., Mueller, T., Parton, W.J., Thornley, J.H.M. and Whitmore, A. P. (1997) A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. Geoderma 81 (1!2), 153!222.

Smith, R.E. (1992) Opus: An Integreated Simulation Model for Nonpoint-Source Pollutants at the Field Scale. Department of Agriculture. Agricultural Research Service. 120 pp.

Stanford, G., M.H. Frere and D.H. Schwaninger (1973): Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization. Soil Science 115, 321-323.

Stanford, G. and E. Epstein (1974): Nitrogen mineralization - water relations in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38, 103-107.

Stott, D.E., L.F. Elliot, R.I. Papendick and G.S. Campbell (1986): Low temperature or low water potential effects on the microbial decomposition of wheat residue. Soil Biol. Biochem. 18, 577-582.

Styczen, M. and Storm, B. (1993a) Modelling of N-movement on catchment scale - a tool for Analysis and Decision Making. 1. Model Description. Fert. Res. 36, 1!6.

Styczen, M. and Storm, B. (1993b) Modelling of N-movement on catchment scale - a tool for Analysis and Decision Making. 1. A Case Study. Fert. Res. 36:7!17.

Svendsen, H., Hansen, S. and Jensen, H.E., (1995) Simulation of crop production, water and nitrogen balances in two German agro-ecosystems using the Daisy model. Ecological Modelling 81, 197!212.

Swinbank, W.C. (1963) Long-wave radiation from clear skies. Quart J. Roy. Meteorol. Soc. 89, 339-348.

Sørensen, L.H. (1975): The influence of clay on the rate of decay of amino acid metabolites synthesized in soils during decomposition of cellulose. Soil Biol. Biochem. 7: 171-177.

Tyler, K.B., F.E. Broadbent and G.N. Hill (1959): Low-temperature effects on nitrification in four California soils. Soil Science 87, 123-129.

Van Genuchten, M. Th. (1980): A close form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:892-898.

Veen, J.A. van and E.A. Paul (1981): Organic carbon dynamics in grassland soils. 1. Background information and computer simulation. Can. J. Soil Sci. 61, 185-201.

Vereecken, H., Jansen, E.J., Hack-ten Broeke, M.J.D., Swerts, M., Engelke, R., Fabrewiz, F. and Hansen, S. (1991) Comparison of simulation results of five nitrogen models using different data sets. In: Soil and Groundwater Research Report II: Nitrate in Soils, 1991: 321!338. Final Report on Contracts EV4V-0098-NL and EV4V-00107-C. DG XII. Commission of the European Communities.

Vries, D.A. de (1952): The thermal conductivity of soil. Mededelingen van Landbouwhogeschool, Wageningen, 52, 1-73.

Vries, D.A. de (1963): Thermal properties of soils. In: Physics of plant environment. NorthHolland Publishing Co., Amsterdam.

Wagenet, R.J. and Hutson, J.L. (1989) LEACHM, A process-based model of water and solute movement, transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone. Version 2. Center For Environmental Research, Department of Agronomy, Cornell University, Ithaca, New York, pp148.

Willigen, P. de (1991) Nitrogen turnover in the soil-crop system; comparison of fourteen simulation models. Fert. Res. 27, 141!149.