بررسی علل هیدروژئومورفولوژیکی تشکیل الگوهای چندضلعی در شق‌های دشت یزد-اردکان

۱- اصغر زارع‌چاهوکی، دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد
Zare.chahouki@gmail.com
۲- محمدرضا اختصاصی، استاد دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد
۳- علی طالبی، دانشیار دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد
۴- سیدمحمدمهدی حسینی، استاد دانشکده ریاضی، دانشگاه یزد

دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۴
پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۲۲

چکیده

الگوی مکانیِ پوشش گیاهی به چگونگی استقرار گیاهان در طبیعت و یا نحوهٔ فیزیکیِ ترتیب قرار گرفتن گیاهان، در هر مقیاسی، گفته می‌شود. الگوی مکانی پوشش گیاهی فرآیندی است که طی آن چیدمان‌های مختلف پوشش گیاهی در مقابل محدودیت های محیطی از جمله کمبود آب شکل می‌گیرد. یکی از انواع قابل توجه الگوهای پوشش گیاهی در دشت یزد-اردکان، الگوی پوشش گیاهی چندضلعی است. در این تحقیق برای نخستین بار به بررسی علت هیدروژئومورفولوژیکی توسعه و گسترش این الگوی نادر پوشش گیاهی در رخساره ژئومورفولوژی شق و مدل مفهومی گسترش پوشش گیاهی در شق ارائه شده است. همچنین از میان عوامل فیزیکی- شیمیایی نمونه‌های خاک مورد بررسی (داخل شق و نمونه های شاهد)، شوری، درصد شن، درصد سیلت و رطوبت، اختلاف معنی‌داری دارند. نتایج این تحقیق نشان داد که آماده شدن بستر مناسب (ایجاد شق همراه با شکسته شدن سخت لایه، تجمع ماسه بادی در شکاف‌ها و بذر مناسب) تنها عامل تعیین‌کننده برای ایجاد و گسترش پوشش گیاهی نیست، بلکه برای ایجاد این الگوی پوشش گیاهی خاص، عامل محرک دیگری (از جمله تکاثف بخار آب در امتداد الگوی چندضلعی و افت سطح سفره آب زیرزمینی همراه با شوک اکوسیستمی) نیز لازم است.

واژگان کلیدی: هیدروژئومورفولوژی؛ شق؛ الگوی پوشش گیاهی؛ چندضلعی؛ دشت یزد- اردکان.

مقدمه

در شرایط بینابین مناطق خشک تا نیمه‌خشک، ناهمگنی مکانی پوشش گیاهی ناشی از تمرکز منابع مغذی است[۵]. شکل‌های مختلفی از الگوهای پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مشاهده شده است[۵ و ۱۵]. الگوهای بسیاری از الگوهای دیده شده، مقیاس خاصی دارند که نشان‌دهنده خودسازماندهی[1] پوشش گیاهی در عرصه یا منظر[2] و نبود پراکنش تصادفی و ناهمگون است. به این نوع از نظام پوشش گیاهی در طبیعت، الگوی پوشش گیاهی[3] گفته می‌شود. الگوی پوشش گیاهی به چیدمان پوشش در یک منظره طبیعی گفته می‌شود. الگوی پوشش گیاهی به علت اینکه انعکاس دهنده بازخورد بین فرآیندهای فیزیکی و بیولوژیکی است، مورد توجه بوم‌شناسان، آب‌شناسان، زمین‌ریخت‌شناسان و ریزاقلیم‌شناسان است.

پاسخ اکوسیستم به تغییرات محیطی به دو دسته تغییرات کوچک، آرام و قابل بازگشت؛ و تغییرات بزرگ، ناگهانی و غیرقابل بازگشت تقسیم می‌شود. نمونه‌های مختلف این تغییرات شامل تلفات ناگهانی موجودات و از بین رفتن پوشش گیاهی در دریاچه‌های کم عمق در اثر

1-Self-organization
2- Landscape
3-Vegetation pattern

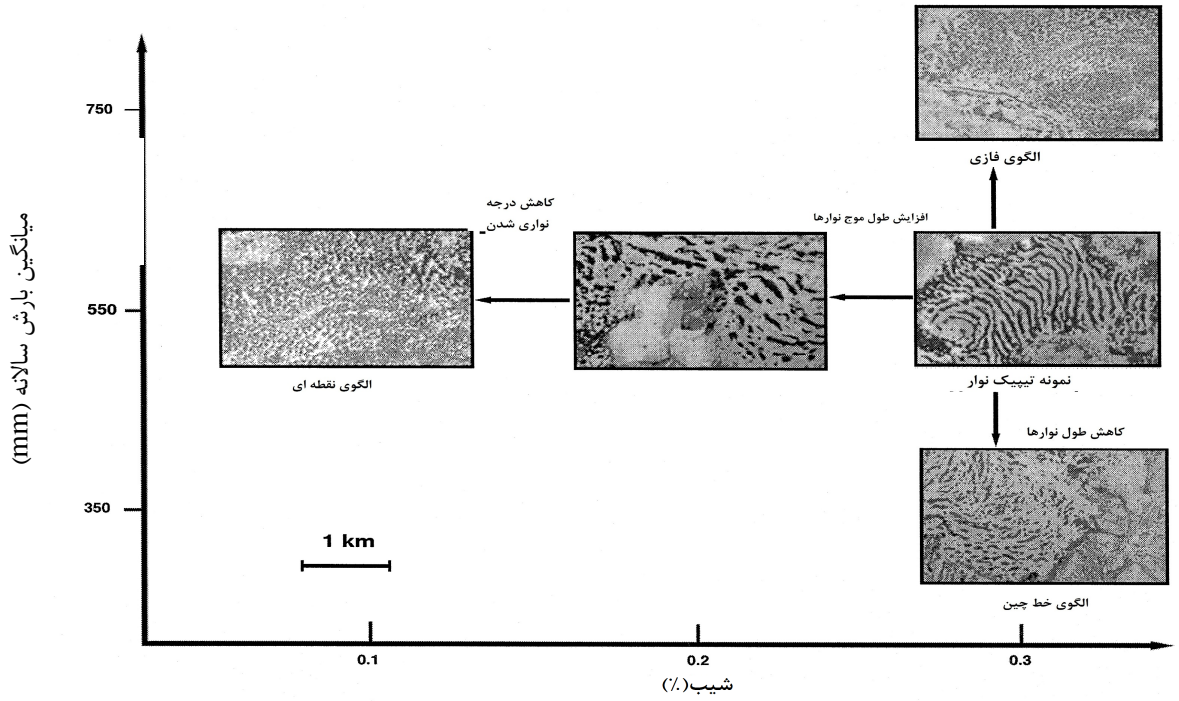
اتروفیکاسیون[۴]، صخره‌های مرجانی با رشد بیش از حد جلبک‌های گوشتی، و بیابان‌زایی ناشی از تغییرات آب و هوایی و یا دخالت‌های بشر هستند [۱۷].

با توجه به میزان بارش، ویژگی خاک، نوع گونه، توپوگرافی و عوامل دیگر، الگوهای مختلف مکانی پوشش گیاهی از جمله نواری[۵]، قوسی[۶]، نقطه‌ای[۷]، منقطع[۸] و ... دیده شده است [۹]. الگوهای پوشش گیاهی در اکوسیستم‌های نیمه خشک سراسر جهان پراکنده و رو به گسترش‌اند، که نشان‌دهنده افزایش پاسخ‌دهی پوشش گیاهی به شرایط محیطی است[۵].

الگوهای پوشش گیاهی در شرق آفریقا (سومالی، اتیوپی و سودان)، در منطقه ساحل (نیجریه، مالی، موریتانی و سنگال)، استرالیا (جنوب شرق، شمال غرب و کویین‌لند)، بیابان چپواوا، بیابان‌های تگزاس، بخش‌های خشک آمریکای شمالی و آسیا مطالعه شده است[۵، ۷، ۱۳ و ۲۰].

مطالعات جهانی زیست‌جغرافیایی[۹] نشان می‌دهد که سطح الگوهای پوشش گیاهی به ۰/۴ درصد کل مناطق خشک جهان رسیده است. این مقدار کمتر از مقدار واقعی است، چرا که الگوهای با طول اضلاع بیش از ۶۰ متر در نظر گرفته شده‌اند. عوامل تعیین‌کننده جهانی در شکل‌گیری الگوها در این مطالعه، درجه خشکی(رطوبتی) و تغییرات زیاد در دما یا بارش بیان شده است[۵].

در مطالعه‌ای دیگر اثر شیب و میانگین بارندگی سالانه بر الگوهای نواری نیجریه در شکل ۱ نشان داده شده‌است[۲۰]. افزون بر این الگوها، در اکوسیستم‌های مختلفی از جمله الگوهای کف استخرها، اراضی توربی و زغال سنگی، الگوهای نواری و لابرنیت در بسترهای صدفی دریا[۲۱]، نقاط منظم درختی و بوته‌ای در گراسلندها [۷]، الگوی تاسوک در مرداب‌های آب شیرین، و الگوهای نواری درختان در کوه‌های راکی را می‌توان نام برد. الگوهای پوشش گیاهی در مقیاس‌های مختلفی در طبیعت دیده



شکل ۱. اثر درجه شیب و میانگین بارندگی سالانه بر نوع الگوهای پوشش گیاهی نواری

4-Eutrophication
5 -Band pattern
6- Labyrinth pattern
7 - Spot pattern
8 - Gap pattern

9-Biogeography

می‌شوند. ابعادی که برای الگوهای پوشش گیاهی می‌توان بیان نمود عبارتند از عرض نوارها یا شعاع لکه‌های[10] پوشش گیاهی که به طور معمول از ۱۰ تا ۱۰۰ متر متغیر هستند[۱۴].

لکه‌های پوشش گیاهی؛ آب، ذرات خاک فرسایش یافته، مواد آلی و بذر گیاهان قابل تکثیر که از طریق باد یا آب به سمت لکه‌ها هدایت می‌شوند، را جمع‌آوری نموده و منبع غذایی نسبتاً غنی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک برای پوشش گیاهی فراهم می‌آورند [۱۸]. این نوع پوشش گیاهی می‌تواند با سازماندهی مناسب در طبیعت پراکنده شود و پوشش گیاهی قابل ملاحظه‌ای را تولید کند (برای اطلاعات بیشتر در باره الگوهای پوشش گیاهی در مناطق خشک به منابع ۸ و ۱۴ مراجعه شود). عوامل هندسی الگوی مکانی پوشش گیاهی شامل طول موج نوارها، پهنای نوارها و تناوب نقاط برای بررسی ارتباط بین شکل الگوها با میانگین بارش سالانه، درجه حرارت، شیب زمین، باد و دیگر متغیرهای توپوگرافی بررسی شده است[۱۲]. افزون بر بررسی کیفی، تعدادی از پژوهشگران، ویژگی‌های کمی و هندسی الگوهای پوشش گیاهی را مطالعه نموده‌اند [۱۰، ۵، ۱۵ و ۲].

بستر شکل‌گیری الگوی پوشش گیاهی در دشت یزد-اردکان رخساره ژئومورفولوژی شق[11] است، بنابراین در این مطالعه به شرح مختصری از این رخساره مهم در دشت یزد، پرداخته می‌شود. برای نخستین بار به طور مستند، عوامل شکست سازه‌ها در مناطق کویری ایران با حفر گمانه ۹۰ متری در شق‌های اطراف روستای رستاق در دشت یزد-اردکان بررسی شد. از میان خواص زمین‌ساختی خاک، خاصیت فروریزی[12] خاک در عمق‌های مختلف را علت اصلی نشست و گسیختگی(ایجاد شق) تشخیص داده شد[۱]. مهم‌ترین علت شروع فرآیند ایجاد شق، افت شدید سطح سفره آب زیرزمینی در دشت یزد-اردکان اعلام شد[۱۶ و ۱]. به طور کلی بر اساس مطالعات انجام شده علت شق‌های ایجاد شده در دشت یزد-اردکان را می‌توان در چهار دسته زیر قرار داد:

۱- استخراج آب‌های زیرزمینی [۱۸ و ۲۳]؛

۲- خاصیت فروریزی خاک‌های دشت یزد –اردکان [۲۰ و ۶]؛

۳- خاصیت فروریزی خاک، توپوگرافی دشت و جریان های سطحی[۶]؛

۴- فعالیت تکتونیکی ناشی از گسل[۶].

یکی از روش‌های بیولوژیکی تثبیت ماسه‌های روان و احیاء اراضی بیابانی، نهال‌کاری در عرصه‌های با پوشش ناچیز و بدون پوشش (ماسه‌زارها) با گونه‌های مناسب و مقاوم به خشکی است. گونه سیاه‌تاغ (*Haloxylon aphyllum*) با سازگاری زیاد با شرایط مناطق خشک از مهم‌ترین گونه هایی است به این منظور کاشت می‌شود. این گونه که به صورت دست‌کاشت توسعه زیادی یافته است، به دلیل داشتن ریشه‌هایی که می‌توانند تا عمق ۲۵ تا ۳۰ متری از سطح زمین نفوذ کنند، از مقاومت زیاد نسبت به خشکی برخوردار است. درختان تاغ قدرت زادآوری طبیعی دارند و در پناه آن‌ها گونه‌هایی از گیاهان علوفه‌ای می‌توانند رشد کنند [۱۱].

از آنجا که منطقه مورد مطالعه بر روی جلگه رسی محدوده کانال باد میبد قرار دارد، تا قبل از ایجاد شق، بدون هرگونه پوشش گیاهی طبیعی چندساله بود. استقرار پوشش گیاهی با توجه به وجود سخت‌لایه[13] در این منطقه امکان‌پذیر نبود. پس از ایجاد رخساره ژئومروفولوژی شق، بستر مناسبی برای استقرار پوشش گیاهی فراهم شد. از این رو، این تحقیق به بررسی و تحلیل ساز و کار ایجاد پوشش در این رخساره ژئومورفولوژی می‌پردازد. در این تحقیق، چگونگی شکل‌گیری سازوکاری هماهنگ بین ویژگی‌های اکوهیدرولوژیکی اکوسیستم برای هماهنگ شدن با شرایط سخت طبیعی در بستر ژئومورفولوژیکی بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

الگوهای پوشش گیاهی مورد مطالعه در دشت یزد-اردکان در مرکز ایران و به مساحت ۲۴۳۴ کیلومتر مربع

10 - Patches
11- Earth Fissure
12- Collapsibility

13 -Hardpan

به صورت پراکنده گسترش دارد، به طوری‌که در ۷ مجموعه چندضلعی از شمال خویدک (با ارتفاع ۱۲۵۰ متر) تا آسیاب دوسنگی میبد (۱۱۴۰ متر) دیده می‌شود. در مناطق مستعد گسترش شق که جنگل‌کاری ردیفی شده است، الگوهای پوشش گیاهی از حالت نواری به پوشش چندضلعی تبدیل شده است. در الگوهای پوشش گیاهی که مرحله تکامل خود را طی کرده‌اند، گونه تاغ مستقر شده و زادآوری دارد. عمق سطح سفره آب زیرزمینی از ۸۹ متر در چاه اکتشافی دهنو(در نزدیکی خویدک) تا ۴۳ متر در بیده میبد متغیر است. از نظر زمان شکل‌گیری این الگوها بر اساس تفسیر عکس‌های هوایی سال ۱۳۶۵ و ۱۳۷۰، از دهه ۱۳۶۰ شروع شده و هم‌اکنون نیز در حال گسترش و تکامل است.

سفره آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان از فهرج شروع شده و در میان دو رشته کوه خرانق و شیرکوه تا کویر چاه افضل اردکان ادامه دارد. محدوده گسترش این دشت بر روی ناودیس بزرگ است که قسمتی از آن به وسیله تشکیلات نئوژن و قسمت دیگر به وسیله آبرفت‌های ریز تا درشت‌دانه پر شده است.

منطقه گسترش الگوی پوشش گیاهی در دشت یزد- اردکان در دشت‌سر پوشیده است. رخساره ژئومورفولوژی غالب در این منطقه شق[14] است. گونه گیاهی غالب توسعه یافته در این الگو، تاغ است. خاک تشکیل‌دهنده دشت یزد-اردکان سیلت است که به طور عمده بادرفتی بوده و به وسیله مواد چسبنده و نمکی و رس های موجود خاکدانه‌های مستعد بادبردگی را تشکیل می دهد [۵]. همانگونه که پیشتر اشاره شد، این الگوها از نظر محدوده گسترش و هندسه الگوهای پوشش گیاهی همگن هستند، از این رو برای بررسی مدل مفهومی گسترش الگوهای پوشش گیاهی چندضلعی، منطقه‌ای انتخاب شد. مختصات متریک مرکز الگوهای پوشش گیاهی چندضلعی مورد مطالعه۲۲۰۸۷۲ متر شرقی و ۳۵۵۶۱۲۴ متر شمالی است. میانگین ارتفاع منطقه مورد مطالعه ۱۱۴۳ متر بالاتر از سطح دریا است. منطقه مورد مطالعه در کانال باد میبد قرار داشته و همواره در معرض طوفان‌های گرد و غبار است. اراضی منطقه از نوع جلگه رسی و بدون پوشش گیاهی است (شکل ۲).

مطالعه الگوی پوشش گیاهی چندضلعی

با توجه به دستیابی به تصاویر ماهواره‌ای بزرگ مقیاس در بازه زمانی کوتاه مدت، شکل‌گیری الگوی پوشش گیاهی چندضلعی در این منطقه در کمتر از مدت ۲ سال انجام شده است (شکل‌های ۲ تا ۴). همان‌گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود تاقبل از ایجاد شق، هیچ‌گونه پوشش گیاهی طبیعی در منطقه استقرار نیافته است.

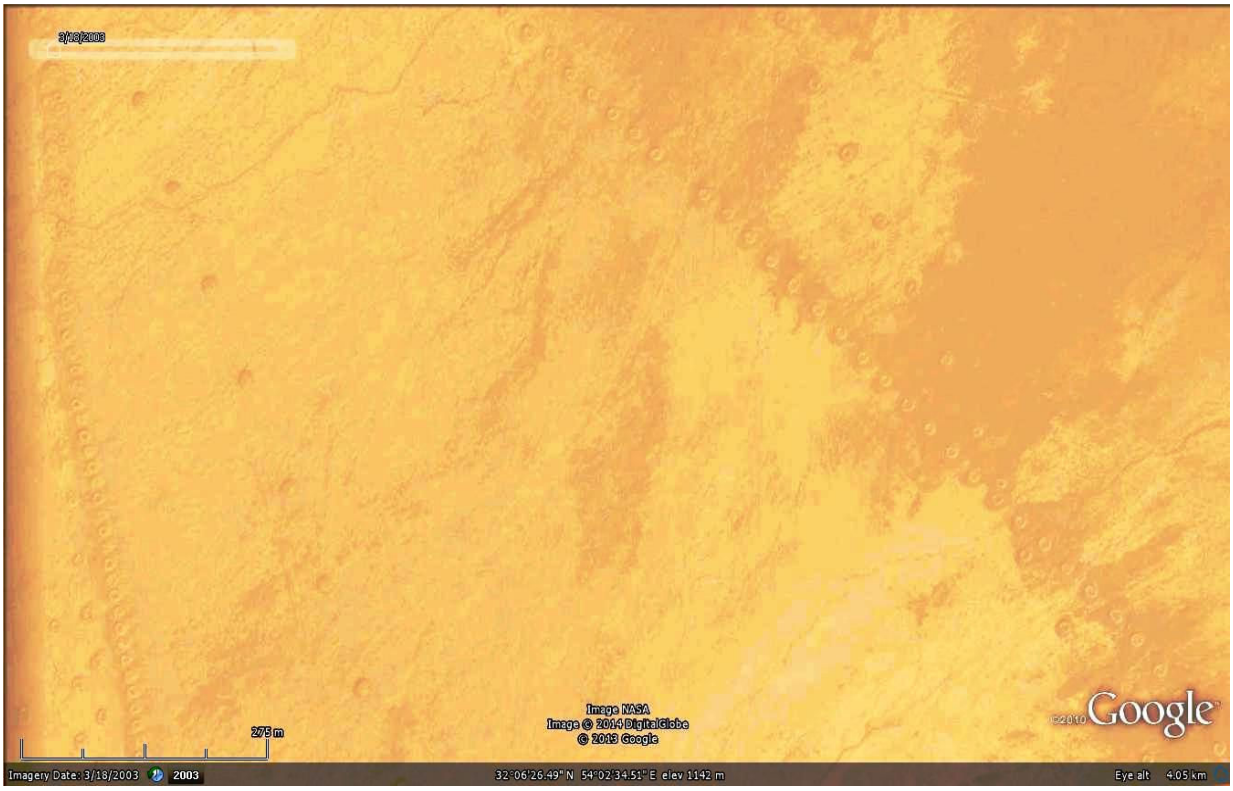
نمونه‌برداری

با توجه به نوع الگوی پوشش گیاهی، محل‌های نمونه‌برداری مشخص شد، در الگوی چندضلعی، محل نمونه‌برداری در مرکز ثقل (به‌عنوان نمونه شاهد) و گوشه‌های چندضلعی انتخاب شد. برای هر الگو نمونه‌برداری‌ها از منطقه شاهد نیز صورت گرفت. با توجه به هدف تحقیق، روش نمونه‌برداری، به صورت سیستماتیک است، که برای الگوی چندضلعی بصورت شعاعی است (شکل ۵).

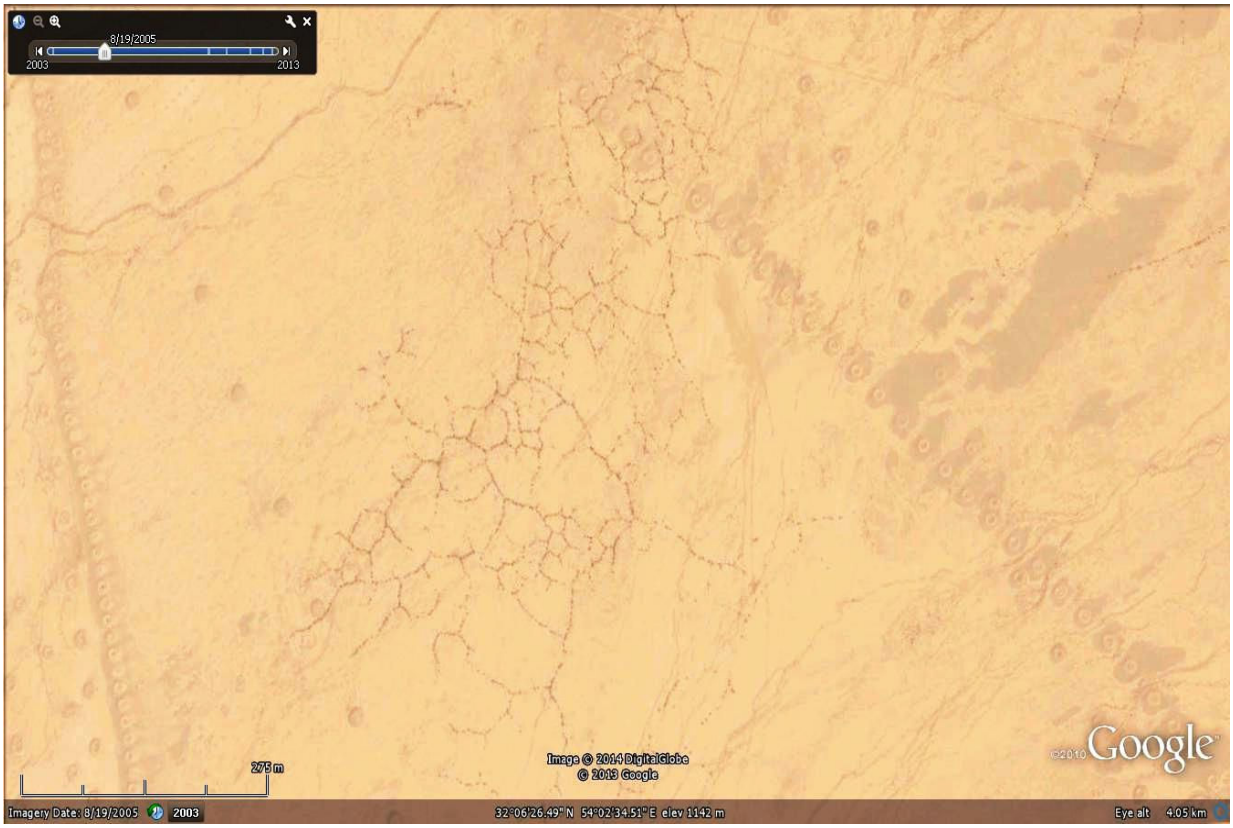
تجزیه و تحلیل داده‌ها

با توجه به جهت‌های استقرار گونه تاغ، میانگین داده‌ها با هم مقایسه شد. تجزیه آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. نخست با استفاده از آزمون کولموگرف-اسمیرونوف، نرمال بودن داده‌ها بررسی و سپس با استفاده از آزمون لیون، همگن بودن واریانس‌ها مشخص گردید. در ادامه با توجه به نوع داده‌ها و هدف تحقیق، برای بررسی تفاوت خاک داخل شکاف شق و شاهد، از آزمون t استفاده شد.

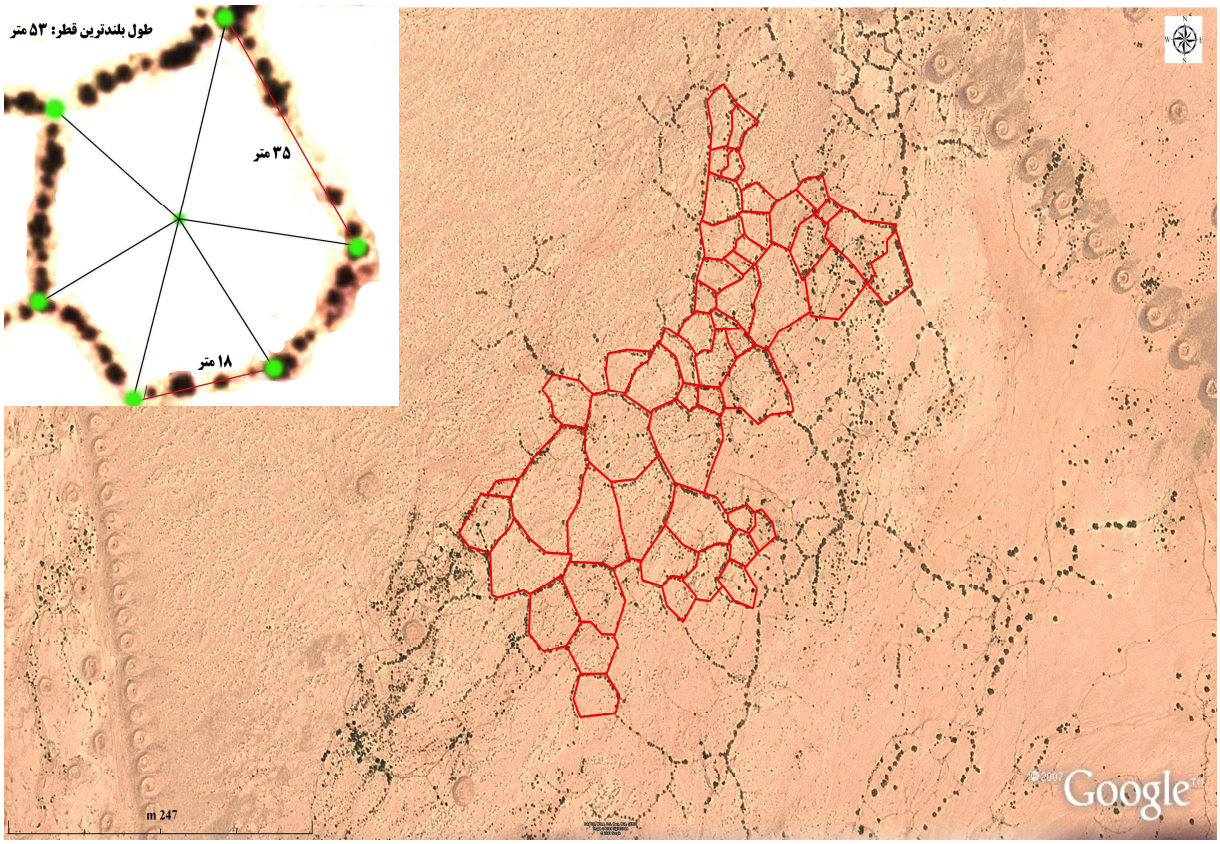
14 - Earth Fissure



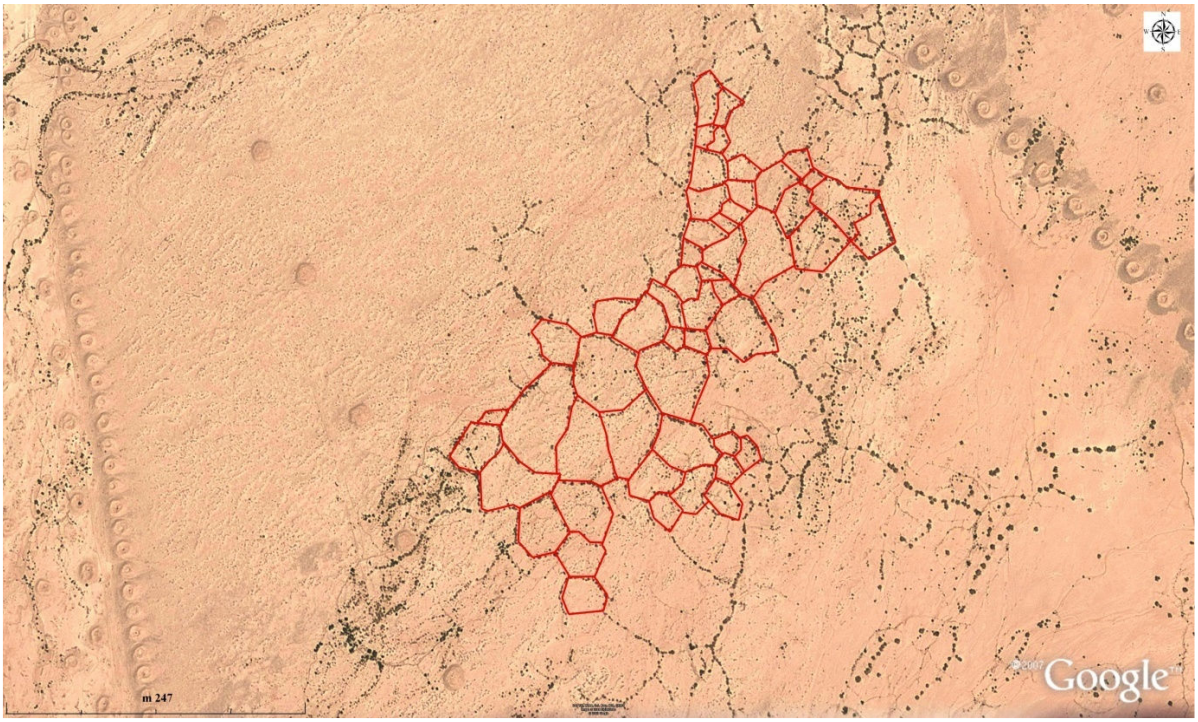
شکل ۲ . تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه در تاریخ ۲۷ اسفند ۱۳۸۱



شکل ۳ . تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه در تاریخ ۲۸ مرداد ۱۳۸۴



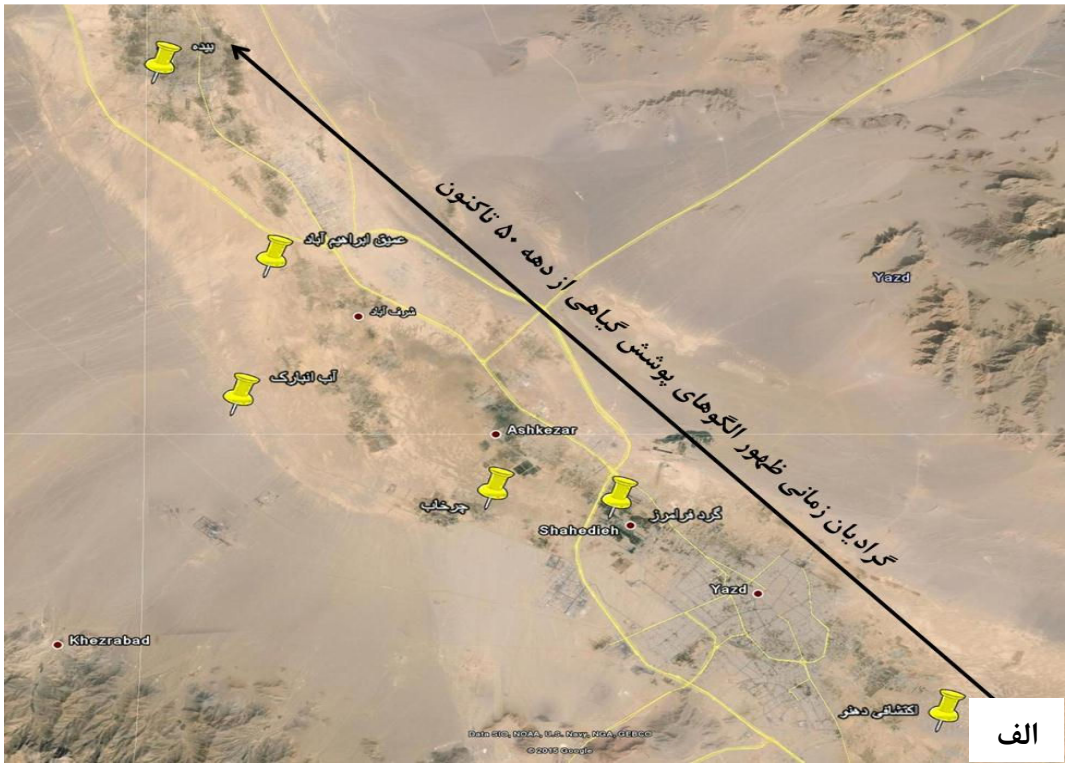
شکل ۴. تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه در تاریخ ۱۳ فروردین ۱۳۹۲

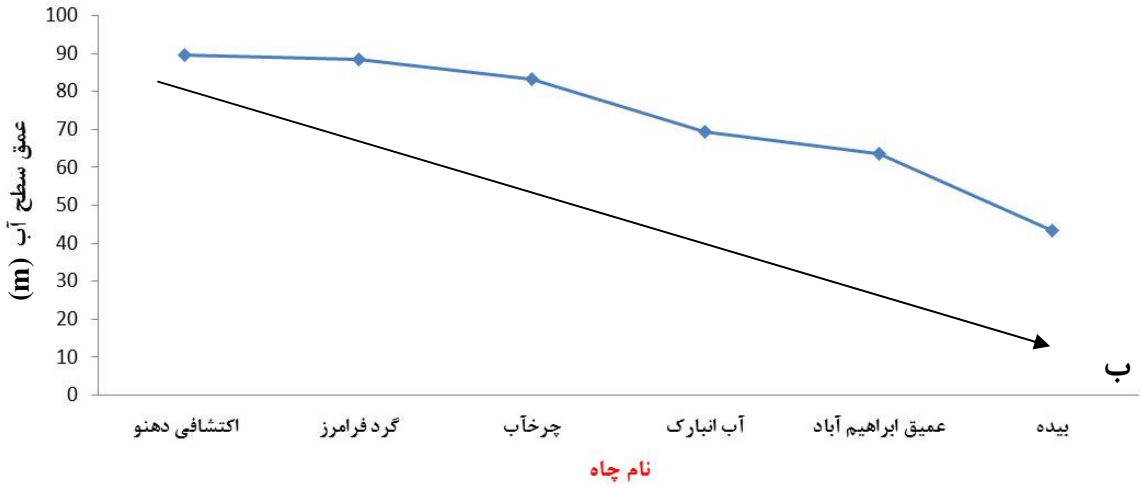


شکل ۵. روش نمونه برداری سیستماتیک-شعاعی برای الگوی پوشش گیاهی چندضلعی

نتایج

طول اضلاع چندضلعی مورد مطالعه از ۶۰ تا ۲۴۵ متر و مساحت آنها از ۲۰۰ تا ۳۶۰۰ متر مربع متغیر است. برای انجام تحلیل مکانی و زمانی ظهور الگوهای پوشش گیاهی تاغ در دشت یزد-اردکان، از ۶ چاه مشاهداتی که در نزدیکی محل پیدایش الگوهای پوشش گیاهی بود، استفاده شد(شکل ۶-الف). از آن‌جا که شیب هیدرولیکی سفره آب زیرزمین دشت یزد-اردکان از سمت فهرج به سمت کویر چاه افضل است، در این راستا عمق رسوبات و سطح سفره آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. همان‌گونه که در شکل ۷ دیده می‌شود از نظر زمانی بین تشکیل الگوی ژئومورفولوژی شق و افت سفره آب زیرزمینی رابطه وجود دارد، به طوری‌که قدیمی‌ترین شق‌ها که دیگر گسترش ندارند در منطقه فهرج دیده می‌شود و در مقابل جوان‌ترین شق‌ها که در نزدیکی میبد قرار دارند، که به‌طور دائم در حال گسترش و تکامل هستند. بنابراین، تشکیل این الگوها در جهت حداکثر شیب هیدرولیکی سفره آب زیرزمینی است (شکل ۶ ب).





شکل ۶– گرادیان مکانی و زمانی ظهور الگوی پوشش گیاهی در دشت یزد-اردکان

نتایج تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

جدول ۱ نتایج آماری برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. از میان ویژگی‌های بررسی شده شوری خاک، درصد شن و سیلت، و درصد رطوبت تاثیر معنی‌داری با منطقه شاهد دارد. از آن‌جا که تاغ گیاهی ماسه‌رست است [۱۱]، دهانه شق‌ها بستر مناسبی برای استقرار این گیاه است. هر چند، با وجود شق‌های گسترده در منطقه مورد مطالعه، تا قبل از خشکسالی‌ها و افت سفره آب زیرزمینی، گونه تاغ تمایلی به مستقر شدن در دهانه شق‌ها نشان نمی‌داد.

بر اساس بررسی تصاویر ماهواره ای تا قبل از ایجاد شق و گسترش آن در منطقه مورد مطالعه، هیچ گونه پوشش گیاهی طبعی چندساله به علت رسی بودن خاک و وجود سخت لایه وجود نداشته است.

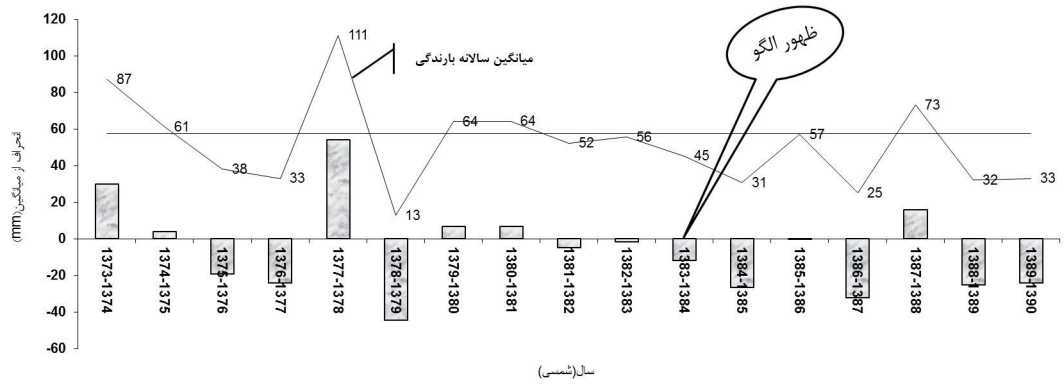
نتایج تحلیل ویژگی‌های بارندگی و تغییرات سطح سفره آب زیرزمینی

شکل ۷ انحراف از میانگین بارندگی بلند مدت سالانه ایستگاه سینوپتیک استان یزد را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل بارش سال آبی ۷۸-۷۹، ۴۴/۵ میلیمتر از میانگین سالانه کمتر بوده که این اختلاف در دوره آماری ۵۰ ساله استان یزد بی سابقه بوده است. نکته جالب توجه این است که این خشکسالی دقیقا پس از سالی که میانگین بارندگی سالانه استان به ۱۱۱/۲ میلیمتر می‌رسد رخ داده است، که این پدیده هم به ندرت در سری‌های بارشی مشاهده می‌شود. رخ دادن این دو ترسالی و خشکسالی متوالی در اکوسیستم شکننده‌ای چون دشت یزد-اردکان تاثیراتی به مراتب شدیدتر نسبت به تغییرات تدریجی کاهش بارش دارد.

جدول ۱. نتایج تحلیل آماری نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه

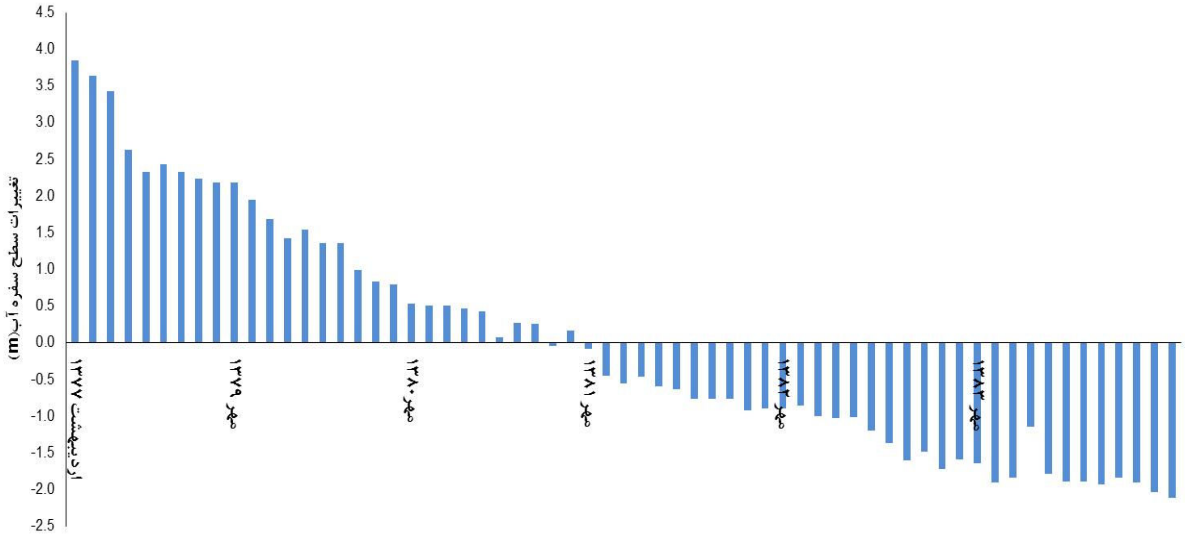
متغیر	تیمار	نتیجه آزمون
شوری(mS/cm)	داخل شکاف شق شاهد(وسط چندضلعی)	**
اسیدیته	داخل شکاف شق شاهد(وسط چندضلعی)	ns
درصد شن	داخل شکاف شق شاهد(وسط چندضلعی)	**
درصد سیلت	داخل شکاف شق شاهد(وسط چندضلعی)	*
درصد رس	داخل شکاف شق شاهد(وسط چندضلعی)	ns
درصد رطوبت	داخل شکاف شق شاهد(وسط چندضلعی)	**

** اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد *اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد ns نبود اختلاف معنی دار



شکل ۷. انحراف از میانگین بارندگی ایستگاه سینوپتیک یزد

همان‌گونه که پیشتر اشاره شد پیدایش الگوهای پوشش گیاهی در سال آبی ۱۳۸۳-۱۳۸۲ یعنی بین ۲-۳ سال بعد از وقوع خشکسالی شدید در استان یزد بوده است. بنابراین، اثر مستقیم خشکسالی سال آبی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ بر تشکیل الگوهای پوشش گیاهی بعید است. با توجه به این‌که تاخیر خشکسالی اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان دو سال ذکرشده است[۴]، این مدت زمان تأخیر می‌تواند در نقاط مختلف دشت یزد-اردکان به علت تفاوت در نوع سازند و ویژگی‌های زمین شناسی و برداشت های متفاوت از سفره آب زیر زمینی، متغیر باشد. گونه تاغ قابلیت جذب آب از منابع آب‌های زیرسطحی و زیرزمینی را دارا است. شکل ۸ نتایج تحلیل تغییرات سطح آب را در نزدیکترین چاه به الگوهای پوشش گیاهی منطقه را نشان می‌دهد. در این مدت با افت سفره شکاف‌های منظمی تشکیل شده و چند ضلعی های منظمی را به وجود آورده و گونه گیاهی تاغ در آن مستقر شده است. شکل ۱۰ مراحل استقرار پوشش گیاهی در دهانه شق و تشکیل الگوی چندضلعی را نشان می‌دهد. هر چند سطح آبخوان دشت یزد-اردکان همواره روند کاهشی داشته است، اما در چاه‌های مشاهداتی نزدیک به منطقه مورد مطالعه و سایر مناطقی که شبکه چندضلعی‌ها شکل گرفته است، شیب کاهش عمق سفره بسیار بیشتر از مناطق مجاور است و تغییرات سطح سفره همزمان با فرآیند شکل‌گیری الگو کاهشی است.



شکل ۸. تغییرات سطح سفره آب زیرزمینی چاه آب صدرآباد (تهیه شده بر اساس داده‌های آب منطقه‌ای یزد)

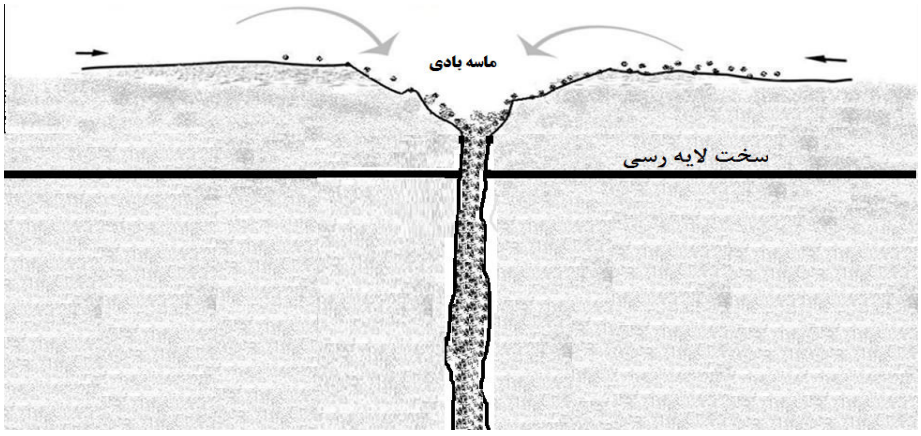
بحث و نتیجه گیری

به دنبال افت سفره های آب زیرزمینی، پدیده نشست زمین یا شق در دشت یزد-اردکان شروع به گسترش نموده است[۱ و ۱۶]. با این حال هیچگونه استقرار پوشش گیاهی در داخل این شکاف‌ها تا سال ۱۳۸۲ در منطقه مورد مطالعه، مشاهده نشده است. این نکته نشان می‌دهد هر چند شرایط برای استقرار پوشش گیاهی (بذر تاغ، عامل انتشار، بافت خاک و رطوبت مناسب) وجود داشته اما گونه گیاهی تاغ بستر قبلی خود را ترجیح داده است.

در این مدت با افت سفره شکاف‌های منظمی تشکیل شده و چند ضلعی های منظمی را به وجود آورده و گونه گیاهی تاغ در آن مستقر شده است. شکل ۱۰ مراحل استقرار پوشش گیاهی در دهانه شق و تشکیل الگوی چندضلعی را نشان می‌دهد. هر چند سطح آبخوان دشت یزد-اردکان همواره روند کاهشی داشته است، اما در چاه‌های مشاهداتی نزدیک به منطقه مورد مطالعه و سایر مناطقی که شبکه چندضلعی‌ها شکل گرفته است، شیب کاهش عمق سفره بسیار بیشتر از مناطق مجاور است و تغییرات سطح سفره همزمان با فرآیند شکل‌گیری الگو کاهشی است. سخت شدن شرایط محیطی از قبیل خشکسالی شدید سال ۱۳۸۰ و به دنبال آن افزایش برداشت از منابع

آب زیرزمینی، عامل محرکی برای استقرار پوشش گیاهی تاغ در دهانه شق‌ها (شوک ناگهانی به اکوسیستم) و ظهور الگوی پوشش گیاهی چندضلعی شد. به عبارت دیگر، در شکل‌گیری الگوی پوشش گیاهی چندضلعی (پلی‌گنی)، بستر مناسب (به عنوان عامل مهارکننده[۱۵]) و شرایط سخت محیطی (به عنوان عامل فعال‌کننده[۱۶]) عمل نموده و تاثیر متقابل این دو عامل، الگوی پوشش گیاهی چندضلعی را در دشت یزد-اردکان بوجود آورده است. تغییر اکوسیستمی رخ داده در بستر ژئومرفولوژیکی بر اساس نظریه تورینگ قابل بیان بوده و با آن منطبق است[۱۹]. سخت‌لایه در منطقه مورد مطالعه یکی از علت‌های اصلی عدم موفقیت تاغ‌کاری و عدم استقرار پوشش گیاهی است، اما پس از ایجاد شق‌های عمیق در منطقه، لایه سخت رسی-نمکی دشت نیز شکاف خورده و این عامل مهارکننده از بین می‌رود. با ایجاد شکاف علاوه بر شکسته‌شدن سخت لایه، محل مناسبی نیز برای ذخیره خاک لبه‌های شق، بذر و ماسه بادی که توسط باد حمل می‌شود، نیز به وجود می‌آید (شکل ۹).

گرچه همواره از دهه ۱۳۶۰، سفره‌های آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان با افت روبرو است، ولی خشکسالی ۱۳۸۰ که به عنوان خشکسالی شدید در یزد از آن یاد می‌شود، عامل فعال‌کننده قوی برای شروع تغییرات اکوسیستمی به شمار می آید. با سخت شدن شرایط محیطی بر اثر عوامل مختلف که یکی از مهم‌ترین آن‌ها در دشت یزد-اردکان، تغییرات سطح سفره آب‌زیرزمینی است، حتی گونه‌های گیاهی که با بهره‌گیری از برخی از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی با شرایط سخت این منطقه سازگار شده‌اند، نیز به تکاپو برای زنده‌مانی افتاده‌اند. به‌طوری‌که تنها چاره را، در استقرار در شق‌ها و تشکیل الگوهای پوشش گیاهی یافته‌اند. با شکل‌گیری الگوهای پوشش گیاهی، منابع غذایی آسان‌تر، بافت خاک سبک و رطوبت بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. در واقع تشکیل الگوهای پوشش گیاهی، نوعی خودسازمان‌دهی و مهندسی اکوسیستم برای تحمل شرایط سخت در درشت یزد-اردکان است. پژوهشگران زیادی مدل‌های شکل گیری الگوهای پوشش گیاهی در مناطق خشک را مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۳ و ۲۲]. این محققان با بررسی عوامل شکل‌گیری به این موضوع اشاره کرده‌اند که، هر چند بتوان یک عامل مهم در شکل‌گیری الگوها را تعیین نمود، ولی تا زمانی عوامل جزئی دیگر اما تعیین‌کننده در کنار هم قرار نگیرند، الگوهای پوشش گیاهی در مناطق خشک شکل نخواهد گرفت. شکل ۱۰ مدل مفهومی تشکیل الگوهای پوشش گیاهی در دشت یزد- اردکان را نشان می‌دهد. گرچه شق‌های دشت یزد-اردکان به علت عوامل مورد اشاره در دشت یزد [۱]، شروع به تشکیل و گسترش نموده‌اند، ولی با توجه به تصاویر ماهواره‌ای، شکاف‌ها در این منطقه تا سال ۱۳۸۲ به صورت منظم و چندضلعی در نیامده بود.

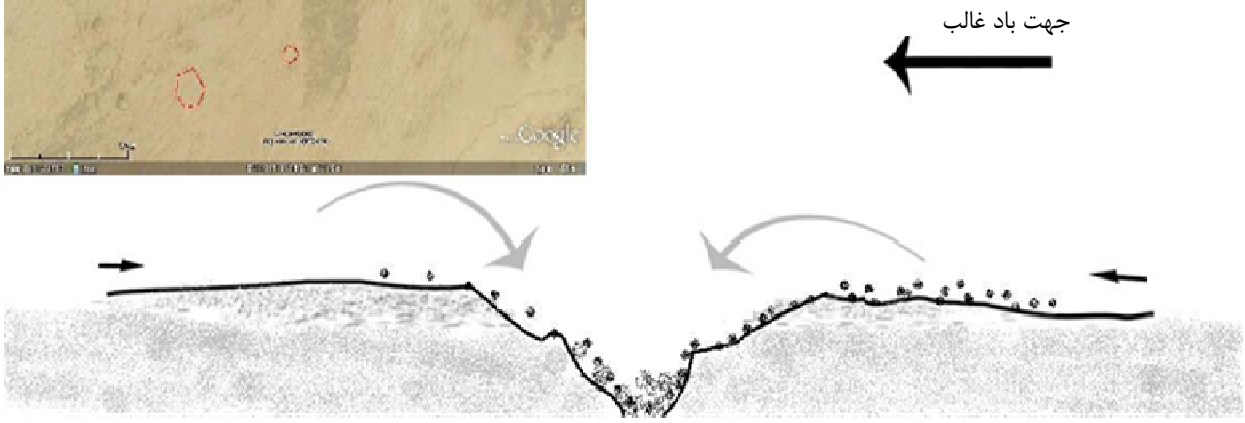


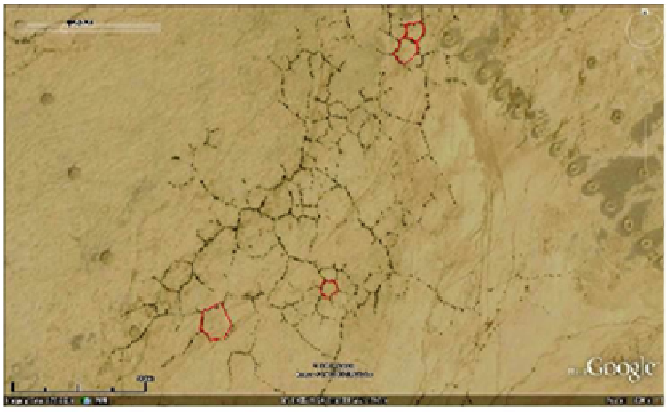
شکل ۹- نمایی از نقش شق در از بین رفتن سخت لایه رسی- نمکی و پر شدن آن با ماسه بادی در مدل مفهومی شکل‌گیری الگوی چندضلعی پوشش گیاهی

15 -Inhibitor
16 -Activator

الف

ایجاد شکاف در شق‌های دشت یزد به دنبال افت سفره آب زیرزمینی
حرکت ماسه‌های روان به سمت دهانه شق و جمع شدن آن‌ها در شکاف شق





ب

انتقال بذر گیاه تاغ به وسیله باد و آماده شدن شرایط رشد بذر در دهانه شق
استقرار گیاه و تشکیل الگوی پوشش گیاهی به شکل چند ضلعی

شکل ۱۰- مدل مفهومی تشکیل الگوی پوشش گیاهی چندضلعی

با توجه به مدل مفهومی شکل گرفته در این تحقیق و بازدیدهای صحرایی، مدت زمان شکل‌گیری پوشش گیاهی در شق از زمان ایجاد شکاف تا استقرار پوشش گیاهی حداقل ۱۴ ماه تخمین زده می‌شود. همچنین باید به این نکته اشاره نمود که تشکیل شکاف و ایجاد شق و مراحل آن، به طور همزمان در همه عرصه دشت یزد- اردکان اتفاق نمی‌افتد. از این‌رو در طی این فرآیند برخی از شق‌ها هنوز بدون پوشش هستند و در طی مراحل تکاملی تشکیل الگوی چندضلعی به دلیل از بین رفتن درخت تاغ در اثر سیل، آفت و ... این پوشش از بین رفته است.

References

[1]. Alami A. (2000). The investigation of land subsidence causes in Yazd-Ardakan plain. MSc thesis of Tarbiat Modares University, 126 pages, (in Farsi).

[2]. Barbier, N., Coutron, P., Lefever, R., Deblauwe, V. & Lejune, O. (2008). Spatial decoupling of facilitation and competition at the origin of gapped vegetation patterns. *Ecology* 89, 1521–1531.

[3]. Couteron, P., & Lejeune, O. (2001). Periodic spotted patterns in semi-arid vegetation

explained by a propagation-inhibition model, 616–628.
[4]. Ekrami M. (2013). The investigation of climatological drought on hydrological severity using GRI Index (case study: Yazd-Ardakan plain). Natural Resources faculty,Yazd University, Ms.c thesis, (in Farsi).
[5]. Gilad, E., vonHardenberg, J. Provenzale, A., Shachak, M. & Meron, E. (2007). A mathematical model for plants as ecosystem engineers. *Journal of Theoretical Biology*. 244, 680–691.
[6]. Komakpanah, A. (2008). Investigation of earth fissures reason in Yazd-Ardakan Road, *Journal of Transportation Research*. 4(2), 181-193, (in Farsi).
[7]. Lejeune, O., Tlidi M., & Couteron P. (2002). Localized vegetation patches: A self-organized response to resource scarcity, *Physical Review*, Par 1, 66(1), 010901.
[8]. Ludwig, J., Bradford P. Wilcox, David D. Breshears, David J. Tongway, & Anton C. Imeson. (2005). Vegetation patches and runoff-erosion as interacting ecohydrological processes in semiarid landscapes. *Ecology* 86: 288, 297.
[9]. Meron, E. (2012). Pattern-formation approach to modelling spatially extended ecosystems. *Ecological Modelling*, 234, 70-82. Elsevier B. V. doi: 10.1016/j. ecolmodel. 2011.05.035
[10]. Meron, E., Yizhaq H., & Gilad E. (2007). Localized structures in dryland vegetation: Forms and functions, Chaos, 17(3), 037109, doi:10.1063/1.2767246
[11]. Moghimi J. (2007). Introduction of some rangeland appropriate species for production and Iranian rangeland improvement. Arvan press. Page: 659, (in Farsi).
[12]. Okin, G. S., & Gillette D. A. (2001). Distribution of vegetation in wind-dominated landscapes: Implications for wind erosion modeling and landscape processes, J. Geophys. Res., 106(D9),9673–9683
[13]. Rietkerk, M., Boerlijst, M. C., Langevelde, F. Van, HilleRisLambers, R., Van de Koppel J., Kumar L., & Klausmeier C. A. (2002). Self-organization of vegetation in arid ecosystems. *American Naturalist*, 160:524–530.
[14]. Rietkerk, M. & van de Koppel, J. (2008). Regular pattern formation in real ecosystems. Trends in Ecology & Evolution. 23: 169,175.
[15]. Rietkerk, M., Boerlijst, M. C., Langevelde, F. Van, Hillerislambers, R., Van, J., Koppel, D., & Kumar, L. (2002). Notes and Comments Self-Organization of Vegetation in Arid Ecosystems, 160(4).
[16]. Salehi, SM., (1998). Structural fracture in the desert regions of Iran. MSc thesis of Azad University. 75 pages, (in Farsi).
[17]. Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J., Folke, C., & Walkerk, B. (2001). Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature(Journal)*, 413:591–596
[18]. Schlesinger, WH., Reynolds, JF., Cunningham, GL., Huenneke, LF., Jarrell, WM., Virginia, RA., & Whitford, WG.,(1990). Biological feedbacks in global desertification. *Science (Journal)*. 247: 1043-1048.
[19]. Turing, A. M. (1952). The chemical basis of morphogenesis, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 237, 37–72.
[20]. Valentin, C., & Poesen, J. (1999). Soil and water components of banded vegetation patterns. East, 1-24.
[21]. Van de Koppel., Wal, D. V. D., Bakker, J. P., & Herman, P. M. J. (2005). Self-Organization and Vegetation Collapse in Salt Marsh Ecosystems. *The American naturalist Journal*, 165(1.)
[22]. Von hardenberg, J., Meron, E., Shachak, M., & Zarmi, Y. (2001). Diversity of Vegetation Patterns and Desertification. October, (c), 3-6. doi: 10.1103/Physical Review Letter .87.198101.
[23]. Zare Mehrjardi, A. (2012). Investigation of Ground Subsidence reasons and fractures in Rostagh Area, South of Meybod. *Geography and Environmental Planning*. 3;22 (3) :155-166, (in Farsi).

Study of hydrogeomorphological causes of development of polygonal vegetation patterns in earth fissures of the Yazd-Ardakan plain

1- A. Zare Chahouki, PhD Student of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University Zare.chahouki@gmail.com
2- M. R. Ekhtesasi, Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University
3- A. Talebi, Associated Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University
4- S. M. M. Hossieni, Professor, Faculty of Mathematical Sciences, Yazd University

Received: 15 Mar 2014
Accepted: 13 Mar 2015

Abstract

Spatial pattern of vegetation refers to establishment and arrangement of plants in nature, at any scale. Vegetation pattern is a mechanism which in formed by vegetation against environmental limitation such as water shortages. One of the most interesting varieties of vegetation patterns that are formed in the Yazd - Ardakan pattern, is polygonal vegetation pattern. This research is the first study to investigate of hydrogeomorphological causes of this rare type of vegetation patterns in fissures in the Yazd - Ardakan plain. This study presents a conceptual model for development of alternative vegetation. Physic-ochemical parameters of soil samples (alternative, and control), salt, sand, silt and moisture were significant statistically. Results show that suitable condition such as forming fissure accompanied by breaking up the hard pan, and optimum seed storage condition is not the only factor efficiently on the development of polygonal vegetation cover for *Haloxylon* Spp., therefore, there is another driving force (Including condensation of water vapor and lowering of groundwater table) in forming of such polygonal vegetation pattern in the Yazd - Ardakan plain.

Keywords: Hydrogeomorphology; Fissures; Vegetation Pattern; Polygon; Yazd-Ardakan Plain.