

## تغییر کاربری اراضی، عاملی در تغییر منابع ماسه در فرایند فرسایش بادی (مطالعه موردی: ارگ دامغان)<sup>۱</sup>

ناصر مشهدی<sup>۲</sup>

استادیار، مرکز تحقیقات بین المللی بیابان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ صدور پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۱۴

### چکیده

فرایند فرسایش بادی مهمترین فرایند ژئومورفولوژی در بسیاری از مناطق بیابانی کره زمین است که ویژگیهای اشکال ناهمواریها (لندفرم‌ها) و چشم اندازها (لنداسکیپ‌ها) را با عمل فرسایش یا رسوبگذاری تحت تاثیر قرار میدهد. ارگ دامغان با مساحتی برابر ۴۳۷۵ هکتار در بخش غربی حوزه آبخیز بسته حاج علی قلی واقع شده است. تثبیت تمام تپه‌های ماسه‌ای این ارگ در سال ۱۳۵۰ انجام شده است. منطقه برداشت این ارگ موقعیت خاصی را در منطقه دامغان اشغال کرده است، به دلیل این زمین ترکیب، اجازه بهره برداری اشکال گوناگون کشاورزی وجود دارد. در دهه‌های اخیر به دلیل پیشرفتهای تکنولوژی و استحصال آب زیر زمینی، مناطق وسیعی از منطقه برداشت (فرایند بادی) برای تغییرات کاربری اراضی توسعه یافته‌اند بطوریکه مناطق تحت تغییر به بیش از ۱۰۷۸۴ هکتار در سال ۱۳۸۸ افزایش یافته است. بدیهی است این چنین تغییرات وسیع، تاثیرات قابل ملاحظه‌ای روی تعادل طبیعی فرایند بادی دارد، به طوری که تغییرات زمانی و مکانی در قابلیت دسترسی به رسوب رخ می‌دهد. این تغییرات منتج به افزایش قابل توجهی در شکل‌گیری و ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای جدید بین تپه‌های ماسه‌ای قدیمتر ثبت شده، شده است. این مطالعه کوششی در تشریح اثرات مختلف تغییر لندکاور در منطقه برداشت فرایند بادی بر روی توسعه تپه‌های ماسه‌ای جدید است.

**واژگان کلیدی:** منابع ماسه، تپه ماسه‌ای جدید، زمین ترکیب، تغییر کاربری اراضی

۱- مقاله برگرفته شده از طرح پژوهشی: تاثیر تغییر کاربری اراضی منابع ماسه در فرایند فرسایش بادی (مطالعه موردی: ارگ دامغان) به

شماره ۷۴۰۲۰۰۳/۱/۱۱ معاونت پژوهشی دانشگاه تهران

۲- نویسنده مسئول) nmashhad@ut.ac.ir

## مقدمه

رابطه بین انرژی باد و ویژگیهای رسوب، وضعیت حمل ماسه بادی را مشخص می‌کند (Alcántara-Carrió et al, 2001). درک سیستمی از این رابطه، در سه موضوع ظرفیت حمل باد، تامین رسوب و قابلیت دسترسی به این رسوبات برای باد متبلور می‌شود.

ظرفیت حمل باد<sup>۱</sup>، ظرفیت حمل رسوب توسط باد است. به این معنی که، یک باد معین، یک ظرفیت حمل بالقوه دارد، (Anderson et al, 1991)، و زمانی حمل واقعی باد به پتانسیل خودش می‌رسد که از تنش برشی آستانه تجاوز کند (Kocurek et al, 1993). تامین رسوب بادی<sup>۲</sup>، به مقدار رسوب آورده شده از یک منطقه منبع اشاره دارد (Alcántara-Carrió et al, 2001)، و آن یک اندازه مناسب دانه رسوب است که به عنوان ماده منبع برای یک سیستم بادی بکار گرفته می‌شود. این رسوبات می‌تواند از منابع گوناگونی تامین شوند مثلا رسوبات شیمیایی (McKee, 1966, Glennie et al., 1994)، و رسوبات رودخانه‌ای/آبرفتی.

قابلیت دسترسی به رسوب بادی<sup>۳</sup> مقدار لحظه‌ای رسوبات آماده برای وزش در یک زمان و مکان خاص است (Alcántara-Carrió et al, 2001, Sarre 1988). قابلیت دسترسی به رسوب بادی به عنوان حساسیت ذرات سطح زمین به برداشتن توسط باد نیز اطلاق می‌شود (Kocurek et al, 1999, Muhs et al, 2003, Alcántara-Carrió et al, 2001). در دسترس بودن ذرات بستگی به مورفولوژی ذره، سرعت آستانه فرسایش و زبری سطحی دارد (He Q et al, 2001, Hagen, 2001, al, 2011). رسوبی کاملا در دسترس است، که کروی، خوب جور شده، خشک و سست باشد. انتقال ذرات برای یک باد معین توسط اندازه دانه، شکل و جورشدگی متفاوت است (Williams, 1964, Willetts et al, 1982) قابلیت دسترسی به رسوب (در اندازه آستانه بلندشدن) می‌تواند توسط رطوبت و میزان سطح اتصال و یا سیمانی شدن محدود شود (Nickling, 1984, Nickling et al, 1981, Hotta et al, 1985). عناصر زبری مانند سنگریزه‌ها و پوشش گیاهی، قابلیت دسترسی به رسوب را با توجه به کاهش انرژی باد در سطح، محدود می‌کنند (Foroutan et al, 2017, Minvielle et al, 2003).

هرگونه تغییر فیزیکی چه از نظر مکانی یا زمانی در سه عامل فوق می‌تواند فرایند بادی را متحول کند (Nordstrom et al, 2004). بعنوان مثال تغییر کاربری زمین در منبع ماسه (منطقه برداشت) از مرتع به کشاورزی، در سال‌های اولیه، بر روی تامین رسوب (مساحت از دست رفته)، قابلیت دسترسی باد به رسوبات (زیر پوشش رفتن ذرات قابل حمل توسط پوشش گیاهی) و ظرفیت حمل باد (کم شدن تنش برشی) اثر گذاشته، بطوری‌که رسوبات با اندازه مناسب از دسترس باد خارج شده، بنابراین ظرفیت حمل باد (بعنوان یک سیال) از بالا دست به پائین دست منتقل شده و مناطق حمل و رسوب‌گذاری قدیمی را تحت تاثیر قرار داده و باعث تغییر در مورفولوژی اشکال ناهمواری‌های پائین دست می‌شود (مشهدی و همکاران، ۱۳۹۲).

1- Transport Capacity of the Wind  
2- Aeolian Sediment Supply (ASS)  
3- Aeolian Sediment Availability (ASA)

تا چند دهه پیش، فرآیندهای فرسایش بادی به یک تعادل نسبی بین متغیرهای مکانی با خصوصیات باد رسیده بود. پیشرفت‌های تکنولوژی و تکنولوژی‌های جدید در چند دهه اخیر یکی از عوامل تغییرات کاربری اراضی در مناطق خشک هستند (Mashhadi et al, 2016). بویژه زمانیکه این تغییرات در زمین‌های تحت فرایند فرسایش بادی رخ می‌دهند. گسترش زمین‌های کشاورزی در مناطق برداشت (منابع ماسه) باعث تغییر زبری سطح زمین شده است. بنا بر این باد با داشتن ظرفیت و توان فرسایندهایی از این مناطق عبور کرده و بر روی مناطق پائین دست یعنی منطقه حمل یا رسوب‌گذاری تاثیر می‌گذارد. بنابراین منابع ماسه جدید ایجاد و بالطبع تپه‌های جدید تشکیل شده و بدنبال آن مسائل و بحران‌های محیط زیستی جدید اتفاق می‌افتد. مطالعات در چند زیر حوزه در مناطق خشک و نیمه‌خشک با وسعت‌های گوناگون نشان داده که از سال ۱۳۵۰ تاکنون تغییر سطح اراضی از کاربری مرتع به کاربری‌های مختلف حدود چهار برابر شده است (رشیدیان و همکاران، ۱۳۹۰).

ارگ دامغان به مساحت حدود ۴۳۷۵ هکتار با تجمعی از اشکال مختلف تپه‌های ماسه ای محصول عمل باد در مناطق بالا دست آن می‌باشد (عظامرادی، ۱۳۷۸). این منطقه به دلیل وضعیت زمین شناسی (ساختار تکتونیکی و ساختار سنگ‌شناسی)، ژئومورفولوژی، اقلیم شناسی و وجود بادهای دائمی و اغلب قوی، یک منطقه خاص را در حوزه آبخیز بسته حاج علیقلی بخود اختصاص داده است. فعالیت‌های گسترده انسانی با توجه به پیشرفت تکنولوژی به ویژه در سال‌های اخیر در مناطق بر داشت ماسه (منابع ماسه) روی تعادل طبیعی اکوسیستم، بویژه روی فرایند فرسایش بادی اثر گذاشته و فعالیت باد را که تقریباً با خصوصیات زمین متعادل شده بود را فعال کرده است (مشهدی و همکاران، ۱۳۹۲). سؤال مطرح شده این است که بدیهی است که تغییرات و بهره‌برداری‌های وسیع در تعادل طبیعی اکوسیستم منطقه اثر می‌گذارد. آیا تغییرات کاربری می‌تواند بر روی فرایند بادی مؤثر باشد؟ این تغییرات، در کدام مراحل فرایند باد بیشتر رخ داده است؟

اهداف کلی تحقیق، بررسی فرایند بادی و لندفرم‌های فرسایش بادی در منطقه و متاثر شده آنها از فعالیت‌های انسانی به عنوان تغییر کاربری اراضی است. علاوه بر این، اهداف دیگری از جمله آنالیز اشکال تراکمی بادی و تغییرات مکانی کاربری اراضی در مراحل فرایند بادی می‌باشد. در این مقاله، نتایج تجزیه و تحلیل ارتباط بین تغییر کاربری سرزمین و فرایند بادی به عنوان یک پدیده موجود در منطقه دامغان ارائه شده است.

این طرح در دو مرحله زمانی صورت خواهد گرفت: اول، بررسی میزان تغییرات کاربری در منابع ماسه (مناطق برداشت) و اثر آن بر مرفولوژی اراضی پائین دست بویژه اشکال تراکمی ماسه (مقاله حاضر) و دوم، ارتباط دینامیکی و ژنتیکی تپه‌های جدید با منابع ماسه جدید (مقاله بعدی).

### مبانی نظری

کاربری سرزمین<sup>۱</sup>، چینش‌های<sup>۲</sup> فعالیت‌ها و ورودی‌های انسان به سرزمین برای تولید، تغییر یا حفظ یک نوع خاص پوشش سرزمین<sup>۳</sup> می‌باشد (Di Gregorio et al., 1998).

در گذشته تلاش‌های زیادی برای ایجاد یک سیستم کاربری سرزمین انجام شده است که اطلاعات مفیدی را در اختیار کاربران مختلف قرار دهد. طبقه‌بندی فائو (Narrain et al., 1999, FAO., 1999). این تلاش‌ها را در ایجاد طبقه‌بندی بر اساس دو رویکرد کلی: رویکرد های عملکرد و توالی ارائه داد (Morie., 2007).

الف- کاربری سرزمین در بعد عملکردی<sup>۱</sup> که مربوط به توصیف مناطق از نظر هدف‌های اجتماعی و اقتصادی می‌شود. مثل کاربری مناطق، برای مسکونی، صنعتی یا تجاری و یا برای کشاورزی و جنگلداری و همچنین برای مقاصد تفریحی یا حفاظتی و غیره

ب- کاربری سرزمین در بعد توالی<sup>۲</sup> که بطور ویژه برای فعالیت‌های کشاورزی، توسعه یافته است. این تعریف شامل یک سری عملیات، بر روی زمین است که توسط انسان با هدف بدست آوردن محصولات و یا منافع از طریق منابع زمین صورت گرفته است برای مثال سری پیوسته‌ای از عملیات کشاورزی از قبیل شخم، بذر پاشی، وجین، باروری (حاصلخیز کردن) و برداشت محصول.

در رویکرد عملکرد کاربری سرزمین، استنتاج از پوشش سرزمین می‌تواند مفید باشد. و در رویکرد توالی، یادداشت و ضبط جامع‌تر از ویژگی‌های مختلف، مورد نیاز خواهد بود. بعنوان مثال روش چند زمانی کشت (Morie., 2007).

تغییر کاربری سرزمین، اثرات مهمی بر اکوسیستم و محیط زیست منطقه‌ای دارد و در نتیجه بر محیط جهانی تأثیر می‌گذارد (Foley., 2005, Grimm., 2008). در دهه‌های اخیر تغییر کاربری و پوشش سرزمین به طور فزاینده‌ای به عنوان یک جزء مهم تغییرات محیط زیست جهانی و مطالعات توسعه پایدار مورد توجه قرار گرفته است (Liu, 2003). ردیابی این تغییرات در محیط زیست و علل انسانی آن، می‌تواند برای پیش بینی تغییرات و مسیرهای آینده پروژه مورد استفاده قرار گیرد (Jansen et al., 2002, Jansen et al., 2003). تأثیرات محیط زیستی تغییرات کاربری سرزمین، به طور قطع، بحث برانگیزه‌ترین نیروی محرک<sup>۳</sup> اقتصادی اجتماعی تغییرات و تخریب اکوسیستم‌ها است. جنگل‌زدایی، توسعه شهری، کشاورزی و سایر فعالیت‌های انسانی، به طور چشمگیری چشم‌انداز سرزمین<sup>۴</sup> را تغییر داده است. چنین اختلالاتی در سرزمین، بر فرایندها و خدمات اکوسیستم اثر می‌گذارد، که می‌تواند پیامدهای گسترده و طولانی مدت داشته باشد (Wu, 2008). درک اثرات تغییر کاربری سرزمین در فرایندهای محیطی، برای مدیریت بهینه منابع طبیعی ضروری است. تأثیر جهانی و منطقه‌ای تغییر کاربری سرزمین در چرخه هیدرولوژیکی (Scanlon et al., 2005)، تغییرات اقلیم (Vorosmarty et al., 2004)، بیابانزایی (Manguet, M., 1986)، شرایط اقتصادی اجتماعی (Liu et al., 2010, Wu, J., 2008)، زمین‌های کشاورزی (Musa et al., 2015) و روی فرایند باد (Tsoar, Dewidar, 2004, 2008) مورد مطالعه قرار گرفته است.

در محیط‌های کشاورزی به ویژه در مناطق خشک، فرسایش بادی می‌تواند با فعالیت‌های انسانی در رابطه با تغییرات کاربری اراضی تشدید گردد. به طور کلی مشخص شده است که تغییر کاربری اراضی توسط فشارهای اقتصادی، اجتماعی و سیاسی احتمالاً عمیق‌تر از اثرات اقلیم هستند (Gomes et al., 2003). فرسایش بادی یک فرایند انتخابی

1- functional dimension

2- sequential dimension

3- force driving

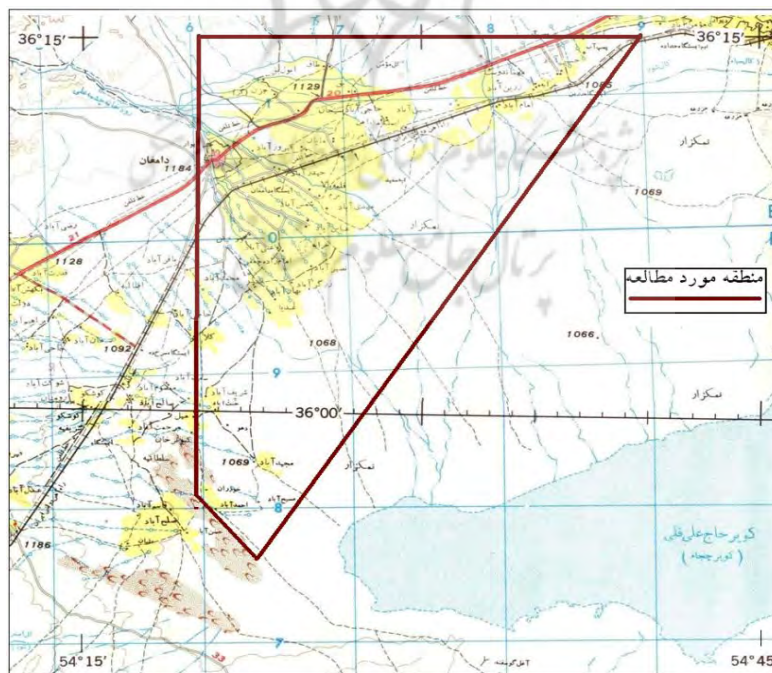
4- landscape

است به این معنی که ریزترین ذرات خاک که حاوی کمترین مقدار مواد مغذی و چسبندگی را از سطح زمین به ویژه زمین‌های کشاورزی، برداشت می‌کند. تغییر کاربری اراضی طبیعی مثل مرتع به کاربری‌های زیستی مثل کشاورزی و باغ باعث تغییراتی در ویژگی‌های سطح زمین مثل تغییر زبری سطح و یا محتوای معدنی خاک می‌شود. این تغییر کاربری، اثراتی در دو دوره زمانی و به صورت توالی دارد در کوتاه مدت، به علت تغییر در زبری سطح، باعث کاهش آستانه فعالیت بادی (Raupach et al., 1993, Siddoway et al., 1965, Crawley et al., 2003) و گرفتن انرژی جنبشی لحظه‌ای از جریان باد و کاهش تنش برشی در سطح زمین (Wolfe et al., 1996) می‌شود. با توجه به اینکه این عمل فعالیت باد را متوقف نکرده بنا براین فعالیت و برداشت باد به منطقه پائین دست منتقل و این اراضی را تحت تاثیر قرار می‌دهد، به عبارتی تغییر مکانی در مرحله برداشت فرایند باد رخ می‌دهد (مشهدی و همکاران، ۱۳۹۲). در دراز مدت و متعاقب مرحله قبل، تغییر کاربری کشاورزی، باعث از دست رفتن ذرات غنی از مواد مغذی خاک شده در نتیجه کاهش حاصلخیزی خاک از طریق کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی آب خاک و تخریب ساختار خاک صورت می‌گیرد (Gomes et al., 2003).

#### مواد و روش‌ها

#### قلمرو جغرافیایی

منطقه مورد مطالعه (ارگ دامغان و اراضی تحت تاثیر باد) در شرق و جنوب شهرستان دامغان واقع گردیده است. این منطقه دارای ۶۴۲۸۰ هکتار مساحت می‌باشد که از نظر موقعیت جغرافیایی در عرض ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و در طول ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی قرار دارد (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه مورد مطالعه ۱۱۵۰ متر از سطح دریا است.



شکل ۱: وضعیت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه (منبع: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح ۱۳۷۰)

در مطالعه مذکور از مدارک و اطلاعات متعددی استفاده گردید که عبارتند از:

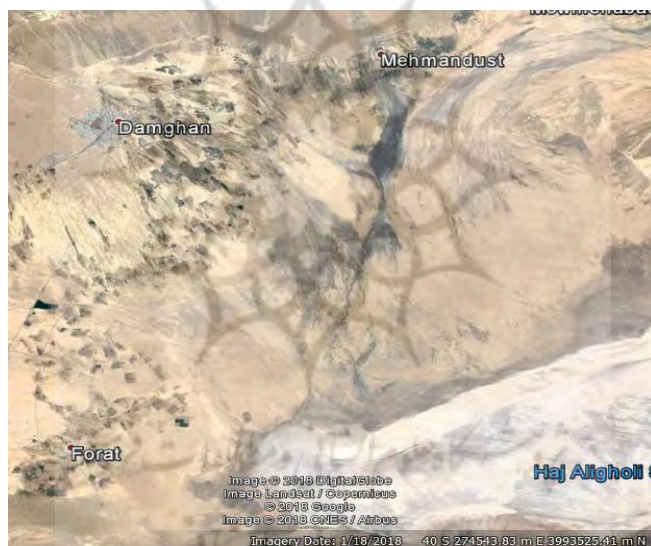
- نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ از این نقشه‌ها برای مطالعه خصوصیات فیزیوگرافی منطقه از جمله مطالعه شیب و همچنین بازدیدهای صحرایی، استفاده شد. این نقشه‌ها شامل برگ دامغان ۶۸۶۲II مهماندوست ۶۹۶۲III حسن آباد ۶۸۶۱I (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۷۰).

- نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، از این نقشه‌ها به منظور تعیین سنگ شناسی منطقه، مطالعه خصوصیات سنگ شناسی و زمین ساخت حوزه دامغان و ارتباط این دو در شکل‌گیری منطقه مورد مطالعه استفاده گردیدند. این نقشه‌ها شامل برگ ترود ۱-40 NI (سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۷۱).

- عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ براساس موزائیک عکسهای مذکور و تفسیر سه بعدی آنها، کاربری اراضی منطقه، با توجه به تاریخ عکسبرداری آنها (۱۹۵۴=۱۳۳۴) مشخص گردید (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۳۵).

- تصاویر ماهواره Terra گرفته شده از سایت Google Earth به منظور بررسی دوباره کاربری اراضی منطقه و تغییرات آن (شکل ۲).

- تهیه آمار و اطلاعات هواشناسی ایستگاه دامغان به منظور مطالعات خصوصیات آب و هوایی و اقلیم منطقه و بررسی وضعیت بادناکی منطقه (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۱).



شکل ۲: موقعیت منطقه بر روی تصویر ماهواره‌های Terra از سایت Google Earth

- بازدیدهای صحرایی برای تکمیل تفسیر تصاویر ماهواره، یادداشت خصوصیات سطح اراضی و کاربری اراضی

- نرم‌افزار ARC GIS- V 10.2

روش‌شناسی

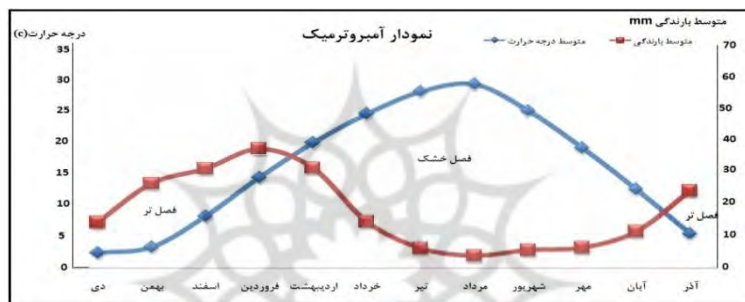
با توجه به موضوع و هدف مطالعه و براساس مدارک و اطلاعات فوق، ابتدا کاربری اراضی تا سال ۱۳۳۴ براساس عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، و با روش اسکن و ورود در محیط ARC GIS 10.2 و با خطای RMS کمتر از یک متر ژئورفرنس، انجام گردید. اندکس کردن عکسها و تفسیر عکسهای هوایی با استریوسکوپ، روش تعیین کاربری اراضی تا سال ۱۳۳۴ بود. همین مطالعه کاربری اراضی تا سال ۱۳۹۴ براساس تفسیر تصاویر ماهواره و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، انجام شد. بعد از مطالعه کاربری اراضی، مطالعه بر روی ژئومرفولوژی بادی در دو دوره زمانی تا سال ۱۳۳۴ و از ۱۳۳۴ تا سال ۱۳۹۴ انجام شد. مطالعه و نقشه ژئومرفولوژی

بادی (لندفرم بادی) تا سال ۱۳۳۴ بر پایه تفسیر عکس‌های هوایی و نقشه‌های زمین‌شناسی انجام شد و نقشه ژئومرفولوژی بادی (لندفرم بادی) تا سال ۱۳۹۴ بر پایه تفسیر تصاویر ماهواره و نقشه‌های زمین‌شناسی انجام گردید. همچنین با توجه به واقع شدن منطقه در مناطق خشک، موضوع و هدف مطالعه، شرایط اقلیمی و ویژگی‌های باد نیز بررسی شد. این مطالعه بر روی داده‌های ایستگاه دامغان بود.

## نتایج کلی

### هواشناسی و اقلیم

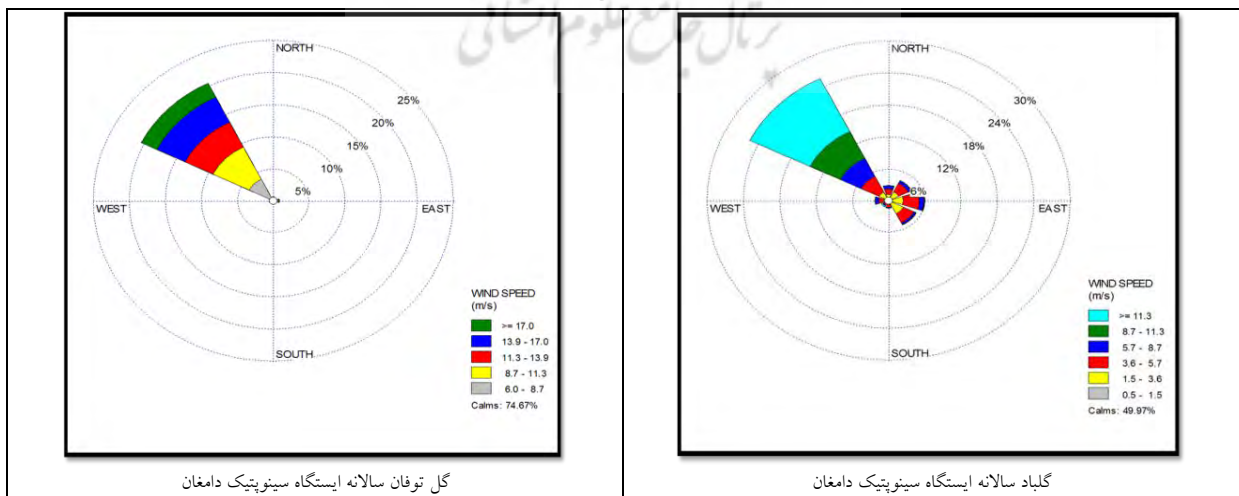
میزان متوسط بارش سالیانه در منطقه با توجه به آمار ایستگاه هواشناسی دامغان (کلیماتولوژی - سینوپتیک)، در دوره ۳۲ ساله آماری (۱۳۹۰-۱۳۵۹)، ۱۱۰ میلیمتر و میانگین دمای روزانه در همین دوره ۱۶/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بر مبنای کلیموگرام و ضریب رطوبت آمبرژه (Q) منطقه دامغان در اقلیم خشک و سرد با بارش زمستانه قرار می‌گیرد. منحنی آمبروترمیک ایستگاه دامغان نشان می‌دهد که ۸ ماه از سال دوره خشک در منطقه است (شکل ۳).



شکل ۳: نمودار آمبروترمیک ایستگاه سینوپتیک دامغان (منبع: نگارندگان)

### تجزیه و تحلیل گلباد

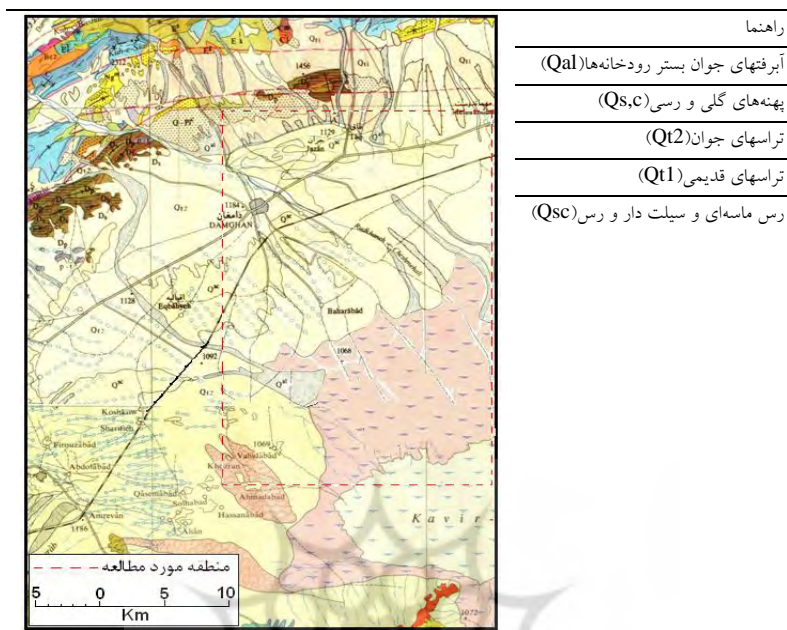
داده‌های بلند مدت سالانه هواشناسی ایستگاه دامغان نشان می‌دهد که جهت باد غالب سالانه، شمال‌غربی است و بیش از ۳۰ درصد از طول سال را در بر می‌گیرد (شکل ۴). همچنین باد قوی شمال‌غربی است و تمام طول سال را در بر می‌گیرد (شکل ۴). بنابراین جهت باد غالب و قوی در طول سال باد شمال‌غربی هستند. بالاترین درصد وزش باد در بهار (۳۲٪) و پایین‌ترین در فصل زمستان (۱۲/۸٪) رخ می‌دهد (حنیفه پور و همکاران ۱۳۹۲).



شکل ۴: گلباد و گل توفان سالانه ایستگاه سینوپتیک دامغان (منبع: نگارندگان)

### زمین‌شناسی

تمامی سطح منطقه مورد مطالعه پوشیده از رسوبات آبرفتی می باشد. این رسوبات ناپیوسته، سخت نشده و با ضخامت‌های مختلف در منطقه پراکنده می‌باشند. (شکل ۵).

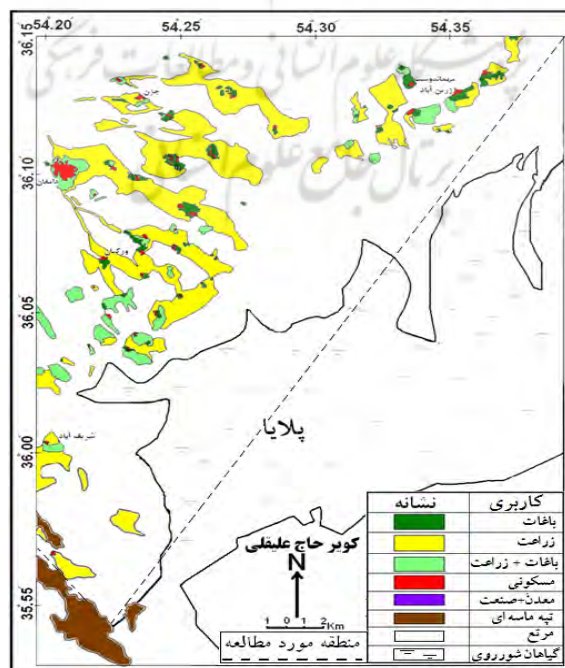


شکل ۵: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (منبع: سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۱)

### کاربری اراضی

- مطالعه و تهیه نقشه کاربری اراضی تا سال ۱۳۳۴

با اندکس کردن عکس‌های هوایی و تفسیر آنها با استریوسکوپ، کاربری اراضی تا سال ۱۳۳۴ تعیین گردید (شکل ۶) و (جدول ۱).



شکل ۶: نقشه کاربری اراضی تا سال ۱۳۳۴ (منبع: نگارندگان)



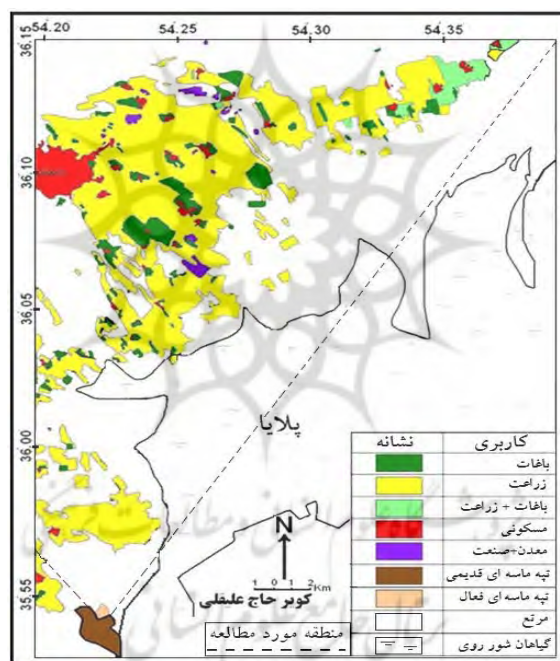
جدول ۱: طبقه‌بندی کاربری اراضی و مشخصات آنها در سال ۱۳۳۴

نوع کاربری	مساحت (هکتار)	در صد مساحت
باغ	۱۳۲۹	۲/۰۷
زراعت	۹۹۴۴	۱۵/۴۷
باغ + زراعت	۲۳۹۵	۳/۷۲
مسکونی	۷۱۲	۱/۱۱
معدن + صنعت	۳۶	۰/۰۶
تپه‌های ماسه‌ای	۱۴۴	۰/۲۲
مرتع	۴۰۶۹۶	۶۳/۳۱
گیاهان شور روی	۹۰۲۴	۱۴/۰۴
جمع	۶۴۲۸۰	۱۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

### مطالعه و نقشه کاربری اراضی تا سال ۱۳۹۴

نقشه کاربری اراضی برای یک دوره (۱۳۹۴) توسط تفسیر تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. اطلاعات با توجه به ویژگی‌های هندسی آن و با فرمت kml سازماندهی شدند (شکل ۷) و (جدول ۲).



شکل ۷: نقشه کاربری اراضی تا سال ۱۳۹۴ (منبع: نگارندگان)

جدول ۲: طبقه‌بندی کاربری اراضی و مشخصات آنها در سال ۱۳۹۴

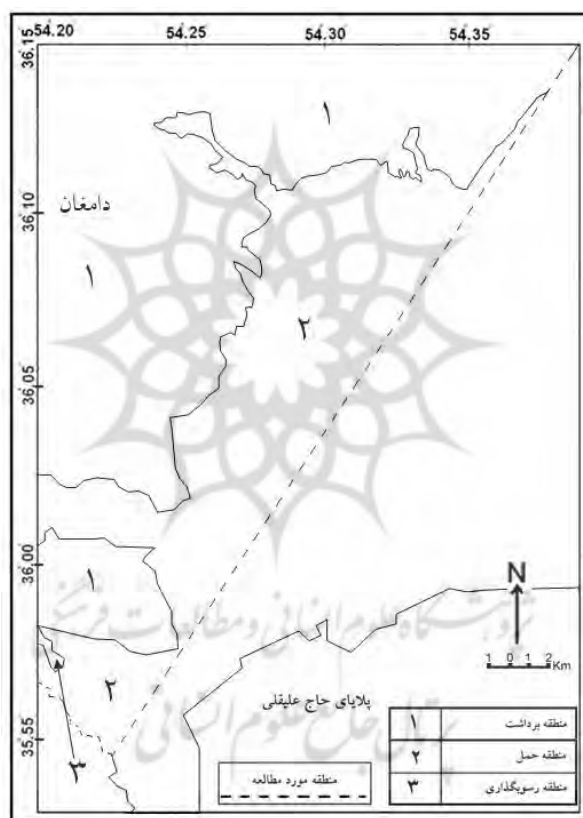
نوع کاربری	مساحت (هکتار)	در صد مساحت
باغ	۲۹۵۲	۴/۵۹
زراعت	۱۸۵۵۸	۲۸/۸۷
باغ + زراعت	۱۰۷۲	۱/۶۷
مسکونی	۲۱۱۵	۳/۲۹
معدن + صنعت	۵۶۶	۰/۸۸
تپه‌های ماسه‌ای فعال (بایر)	۸۱	۰/۱۳
مرتع	۲۹۹۶۴	۴۶/۶۱
گیاهان شور روی	۸۹۷۲	۱۳/۹۶
جمع	۶۴۲۸۰	۱۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

## ژئومورفولوژی بادی

ژئومورفولوژی بادی مطالعه عملکردی است که باد، زمین را در اثر فرسایش، حمل و رسوب شکل می‌دهد. از آنجا که باد مواد ماسه‌ای را با سهولت بیشتری نسبت به ذرات درشت و یا ذرات ریزتر حرکت می‌دهد، بنا براین باد به طور موثرتر در مناطقی که در آن مواد در این حد اندازه در سطح زمین وجود دارد و جائیکه ذرات توسط پوشش گیاهی و رطوبت نگه نداشته باشد عمل میکند. ویژگی‌های مشترک این محیط‌ها، پوشش گیاهی ضعیف یا تنک، تامین رسوب ریزدانه و باد قوی است (Livingstone et al, 2001).

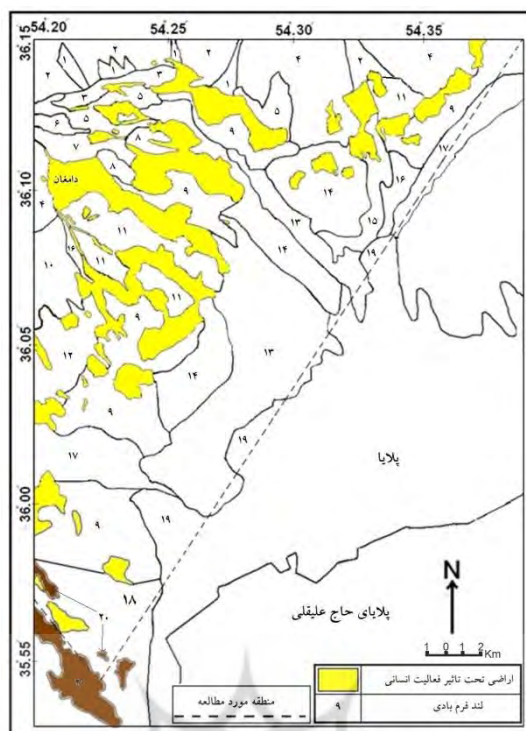
فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه، هر سه مرحله جدایش، حمل و رسوب مواد، توسط باد را شامل می‌گردد. بر این اساس و بر پایه بازدیدهای صحرایی، شاخص‌های زمینی فرسایش بادی جهت تعیین نقشه‌ها و اطلاعات لندفرم‌های بادی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۸).



شکل ۸: نقشه فرایند بادی منطقه در سال ۱۳۳۴ (منبع: نگارندگان)

## مطالعه لندفرم‌های بادی تا سال ۱۳۳۴

نقشه لندفرم‌های بادی بر پایه تفسیر عکس‌های هوایی و نقشه‌های زمین‌شناسی انجام گردید (شکل ۹ و جدول ۳).



شکل ۹: نقشه لندفرم‌های بادی منطقه تا سال ۱۳۳۴

جدول ۳: ویژگی‌های لندفرم‌های بادی منطقه تا سال ۱۳۳۴

فرایند	لندفرم‌های بادی	کد در نقشه	مساحت (هکتار)
باد			
برداشت	سطوح قلوه سنگی	۱	۷۲۲
	سطوح سنگفرش درشت	۲	۲۷۳۷
	سطوح سنگفرش درشت و فرسایش آبی	۳	۴۸۱
	سطوح سنگفرش متوسط	۴	۴۸۷۳
	سطوح فرسایش آبی (شیاری تا آبراهه‌ای)	۵	۱۵۳۴
	سطوح سنگفرش بیابان (رگ) ریز	۶	۲۱۱
	سطوح ماسه‌ای درشت	۷	۶۶۲
	سطوح منظم	۸	۶۰۲
	سطوح رسی-سیلتی با آثار لکه‌های فرسایش بادی	۹	۸۸۷۳
	سطوح پراکنده سنگفرش درشت	۱۰	۱۳۲۳
	سطوح فرسایش شیاری و شبکه زهکشی موازی	۱۱	۳۰۰۸
	سطوح پراکنده سنگفرش ریز	۱۲	۱۵۶۴
جمع			۲۶۵۹۰
حمل	مخروط آبرفتی با بسترهای رسی و مرطوب	۱۳	۸۳۹۲
	سطوح رسی و سیلتی بانیکا	۱۴	۵۹۲۴
	نیکاهای مترکم با رطوبت بالا	۱۵	۱۰۲۳
	مخروط آبرفتی با نیکا و رطوبت بالا	۱۶	۶۶۲
	سطوح رسی با نیکاهای پراکنده در بستر آبراهه‌ها	۱۷	۲۷۳۸
	سطوح نیکا	۱۸	۲۲۰۲
	سطوح پف کرده	۱۹	۲۰۴۵
جمع			۲۲۹۸۶
رسوب	تپه‌های ماسه‌ای قدیمی	۲۰	۱۴۴
جمع مساحت لندفرم‌ها			۴۹۷۲۰

منبع: یافته‌های پژوهش

مقایسه جداول ۱ و ۳ میزان اشغال مساحت توسط اراضی تحت تاثیر فعالیت انسانی و لندفرم‌های بادی را در کل منطقه و تا سال ۱۳۳۴ نشان می‌دهد (جدول ۴).

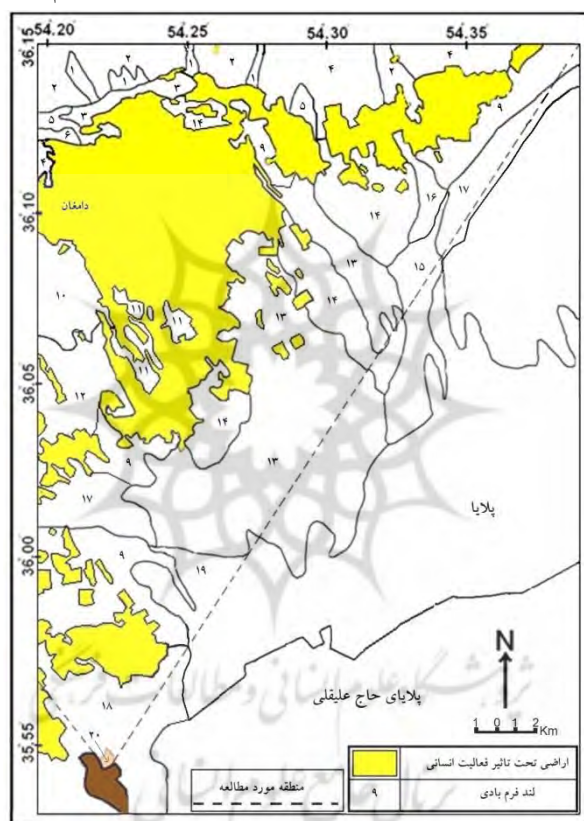
جدول ۴: توزیع وسعت کاربری اراضی و وسعت لندفرم‌ها در منطقه تا سال ۱۳۳۴

نوع اراضی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
اراضی تحت تاثیر فعالیت انسانی	۱۴۵۶۰	۲۲/۷
لندفرم‌های ژئومرفولوژی	۴۹۷۲۰	۷۷/۳
جمع	۶۴۲۸۰	۱۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

### مطالعه لندفرم‌های بادی تا سال ۱۳۹۴

نقشه لندفرم‌های بادی بر پایه تفسیر تصاویر ماهواره و نقشه‌های زمین‌شناسی انجام گردید (شکل ۱۰) و (جدول ۵).



شکل ۱۰: نقشه لندفرم‌های بادی منطقه تا سال ۱۳۹۴

جدول ۵: ویژگی‌های لندفرم‌های بادی منطقه از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۴

فرایند باد	لندفرم‌های بادی	کد در نقشه	مساحت (هکتار)
برداشت	سطوح قلوه سنگی	۱	۶۰۵
	سطوح سنگفرش درشت	۲	۲۶۲۷
	سطوح سنگفرش درشت و فرسایش آبی	۳	۵۸۹
	سطوح سنگفرش متوسط	۴	۳۰۴۰
	سطوح فرسایش آبی (شیاری تا آبراهه‌ای)	۵	۵۹۷
	سطوح سنگفرش بیابان (رگ) ریز	۶	۱۷۹
	سطوح ماسه‌ای درشت	۷	۰
	سطوح منظم	۸	۰
	سطوح رسی-سیلتی با آثار لکه‌های فرسایش بادی	۹	۵۱۰۶

۱۴۳۳	۱۰	سطوح پراکنده سنگفرش درشت
۷۱۷	۱۱	سطوح فرسایش شیاری و شبکه زهکشی موازی
۱۷۳۲	۱۲	سطوح پراکنده سنگفرش ریز
۱۶۶۳۱		جمع
۱۰۲۱۳	۱۳	مخروط آبرفتی با بسترهای رسی و مرطوب
۵۱۰۶	۱۴	سطوح رسی و سیلتی بانیکا
۶۵۷	۱۵	نیکاهای متراکم با رطوبت بالا
۵۳۷	۱۶	مخروط آبرفتی با نیکا و رطوبت بالا
۲۵۳۸	۱۷	سطوح رسی با نیکاهای پراکنده در بستر آبراهه‌ها
۱۸۵۱	۱۸	سطوح نیکا
۱۴۰۳	۱۹	سطوح پف کرده
۲۲۳۰۵		جمع
۸۱	۲۰	تپه‌های ماسه‌ای فعال (بایر)
۳۹۰۱۷		جمع مساحت لندفرم‌ها

منبع: یافته‌های پژوهش

مقایسه جداول ۲ و ۵ میزان اشغال مساحت توسط اراضی تحت تاثیر فعالیت انسانی و لندفرم‌های بادی را در کل منطقه و تا سال ۱۳۹۴ نشان می‌دهد (جدول ۶).

جدول ۶: توزیع وسعت کاربری اراضی و وسعت لندفرم‌ها در منطقه تا سال ۱۳۹۴

نوع اراضی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
اراضی تحت تاثیر فعالیت انسانی	۲۵۲۶۳	۳۹/۳
لندفرم‌های ژئومرفولوژی	۳۹۰۱۷	۶۰/۷
جمع	۶۴۲۸۰	۱۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

مطالعات نشان داد که سه مرحله فرایند فرسایش بادی (برداشت، حمل و رسوب‌گذاری) در منطقه وجود داشته و هم‌اکنون نیز در حال اتفاق افتادن است. (جداول ۳ و ۵). این مطالعه نشان داد که منطقه برداشت با لندفرم غالب سنگفرش بیابان و منطقه حمل با لندفرم غالب نیکا و منطقه رسوب‌گذاری با لندفرم تپه‌های ماسه‌ای پیش بارخانی مشخص می‌شوند.

مقایسه جداول ۳ و ۵ تغییرات اعمال شده توسط فعالیت انسان در لندفرم‌های بادی را نشان می‌دهد به طوری که مرحله برداشت با اختلاف مساحت ۹۹۵۹ هکتار از ۲۶۵۹۰ هکتار به ۱۶۶۳۱ هکتار و مرحله حمل با اختلاف مساحت ۶۸۱ هکتار از ۲۲۹۸۶ هکتار به ۲۲۳۰۵ هکتار و مرحله رسوب‌گذاری با اختلاف مساحت ۶۳ هکتار از ۱۴۴ هکتار به ۸۱ هکتار به ترتیب در طول سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۴ تغییر کرده است (جداول ۳ و ۵). جدول ۷ این تغییرات را نشان می‌دهد.

جدول ۷: تغییرات در وسعت مراحل فرایند بادی

مراحل سال	جدایش ذرات (برداشت) (هکتار)	حمل (هکتار)	رسوب‌گذاری (هکتار)
۱۳۳۴	۲۶۵۹۰	۲۲۹۸۶	۱۴۴
۱۳۹۴	۱۶۶۳۱	۲۲۳۰۵	۸۱
تفاوت (هکتار)	-۹۹۵۹	-۶۸۱	-۶۳

منبع: یافته‌های پژوهش

همانگونه که جدول ۷ نشان می‌دهد در مجموع از تمام مساحت‌های اشغال شده توسط فرایند بادی کاسته و به کاربری‌های انسانی (زیستی - مسکونی و صنعتی) اضافه شده است، ولی این تغییرات یکسان نیست. بیشترین تغییر در

مساحت این فرایندها مربوط به مرحله جدا شدن ذرات (برداشت) است. این به این معنی است که ۹۹۵۹ هکتار از اراضی که قبلاً در اختیار باد بوده و ذرات حساس به فرسایش را برداشت میکرده از دسترس باد خارج شده است. در حقیقت ظرفیت برداشت باد به عنوان یک سیال به مناطق پائین دست منتقل شده است. در حالی که منطقه حمل فقط ۶۸۱ هکتار کاهش داشته و این بدین معناست که بطور تقریب تمام منطقه حمل در دسترس باد قرار دارد. مقایسه وسعت کاربریهای مختلف در این دوره بر پایه جداول ۱ و ۲ نشان میدهد که تغییرات وسعت کاربری در این دوره ۱۰۷۸۴ هکتار است. بیشترین تغییرات (افزایش مساحت) در مساحت کاربریها به ترتیب در وسعت کاربری معدن و صنعت حدود ۱۵ برابر و سپس در کاربری زراعت که حدود دو برابر می‌باشد. و بیشترین تغییرات از نظر کاهش مساحت، مربوط به کاربری مراتع با ۱۰۷۳۲ هکتار یا ۲۷ درصد است (جدول ۸).

جدول ۸: تغییرات مساحت در کاربریهای مختلف منطقه

نوع کاربری	مساحت (هکتار) ۱۳۳۴	مساحت (هکتار) ۱۳۹۴	اختلاف (هکتار)	اختلاف (درصد)
باغ	۱۳۲۹	۲۹۵۲	+۱۶۲۳	+۱۲۲٪
زراعت	۹۹۴۴	۱۸۵۵۸	+۸۶۱۴	+۸۷٪
باغ + زراعت	۲۳۹۵	۱۰۷۲	-۱۳۲۳	-۴۵٪
مسکونی	۷۱۲	۲۱۱۵	+۱۴۰۳	+۱۷۹٪
معدن + صنعت	۳۶	۵۶۶	+۵۳۰	+۱۴۷۲٪
تپه ماسه‌ای	۱۴۴	۸۱	-۶۳	-۴۴٪
مرتع	۴۰۶۹۶	۲۹۹۶۴	-۱۰۷۳۲	-۲۷٪
گیاهان شور روی	۹۰۲۴	۸۹۷۲	-۵۲	-۰/۶٪
جمع	۶۴۲۸۰	۶۴۲۸۰	-	-
+ اضافه شده				
- کاهش یافته				

منبع: یافته‌های پژوهش

بررسی تغییرات کاربری سرزمین نشان داد (مقایسه جداول ۱ و ۲) که ۱۰۷۸۴ هکتار از اراضی مرتع و مناطق با گیاهان شور روی، توسط فعالیت انسان به کاربری‌های زیستی (کشاورزی و باغات و...)، مسکونی و صنعتی تبدیل شده‌اند (جدول ۹).

جدول ۹: وسعت تغییرات کاربری توسط فعالیت‌های زیستی، مسکونی و صنعتی انسان

کاربری	مرتع و گیاهان شور روی	اراضی با فعالیت‌های زیستی، مسکونی و صنعتی	سال
	۴۹۷۲۰	۱۴۵۶۰	۱۳۳۴
	۳۸۹۳۶	۲۵۳۴۴	۱۳۹۴
تفاوت	-۱۰۷۸۴	+۱۰۷۸۴	
+ اضافه شده			
- کاهش یافته			

منبع: یافته‌های پژوهش

مقایسه جداول ۷ و ۹ نشان می‌دهد که از صد درصد تغییرات (۱۰۷۸۴ هکتار)، ۹۳ درصد تغییرات در منطقه برداشت (جدایش ذرات)، ۶ درصد تغییرات در منطقه حمل (۶۸۱ هکتار) و نهایتاً یک درصد تغییرات در منطقه رسوب‌گذاری رخ داده است (جدول ۱۰). داده‌های جدول ۱۰ نیز انتقال ظرفیت برداشت سیال باد به مناطق پائین دست را تأیید می‌کند.

جدول ۱۰: تغییرات وسعت در مراحل فرایند بادی

فرایند	منطقه برداشت	منطقه حمل	منطقه رسوبگذاری
تغییرات (هکتار)	۹۹۵۹	۶۸۱	۶۳
تغییرات (درصد)	۹۳	۶	۱

منبع: یافته‌های پژوهش

تطبيق نقشه‌های ژئومرفولوژی بادی (لندفرم‌ها) در دو دوره مطالعاتی (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) و مقایسه اطلاعات جداول ۳ و ۵ نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات در مساحت، در لندفرم‌های منطقه جدایش خاک به عنوان مناطق مستعد فرایند برداشت رخ داده است (۳۸ درصد) (جدول ۱۱).

جدول ۱۱: وسعت تغییرات لندفرم‌ها توسط فعالیت‌های زیستی (کشاورزی و باغات و...)، مسکونی و صنعتی انسان

فرایند بادی	لندفرم‌های ژئومرفولوژی بادی	مساحت (هکتار)	مساحت (هکتار)	تفاوت (هکتار)	تفاوت درصد
جدایش و کنده شدن ذرات	سطوح قله سنگی	۷۲۲	۱۳۳۴	۶۰۵	-۱۱۷٪
	سطوح سنگفرش درشت	۲۷۳۷	۲۶۲۷	۱۱۰	-۴٪
	سطوح سنگفرش و فرسایش آبی	۴۸۱	۵۸۹	۱۰۸	+۲۴٪
	سطوح سنگفرش متوسط	۴۸۷۳	۳۰۴۰	۱۸۳۳	-۳۸٪
	سطوح فرسایش آبی (شیاری تا آبراهه‌ای)	۱۵۳۴	۵۹۷	۹۳۷	-۶۱٪
	سطوح سنگفرش بیابان (رگ) ریز	۲۱۱	۱۷۹	۳۲	-۱۵٪
	سطوح ماسه‌ای درشت	۶۶۲	۰	۶۶۲	-۱۰۰٪
	سطوح منظم	۶۰۲	۰	۶۰۲	-۱۰۰٪
	سطوح رسی سیلتی با آثار لکه‌های فرسایش بادی	۸۸۷۳	۵۱۰۶	۳۷۶۷	-۴۳٪
	سطوح پراکنده سنگفرش درشت	۱۳۲۳	۱۴۳۳	۱۱۰	+۸٪
	سطوح فرسایش شیاری و شبکه زهکشی موازی	۳۰۰۸	۷۱۷	۲۲۹۱	-۷۶٪
	سطوح پراکنده سنگفرش ریز	۱۵۶۴	۱۷۳۲	۱۶۸	+۱۱٪
جمع		۲۶۵۹۰	۱۶۶۳۱	۹۹۵۹	-۳۸٪
حمل	مخروط آبرفتی با بسترهای رسی و مرطوب	۸۳۹۲	۱۰۲۱۳	۱۸۲۱	+۲۲٪
	سطوح رسی و سیلتی بانیکا	۵۹۲۴	۵۱۰۶	۸۱۸	-۱۴٪
	نیکای متراکم با رطوبت بالا	۱۰۲۳	۶۵۷	۳۶۶	-۳۶٪
	مخروط آبرفتی با نیکا و رطوبت بالا	۶۶۲	۵۳۷	۱۲۵	-۱۹٪
	سطوح رسی با نیکاهای پراکنده در بستر آبراهه‌ها	۲۷۳۸	۲۵۳۸	۲۰۰	-۷٪
	سطوح نیکا	۲۲۰۲	۱۸۵۱	۳۵۱	-۱۶٪
	سطوح پف کرده	۲۰۴۵	۱۴۰۳	۶۴۲	-۳۱٪
جمع		۲۲۹۸۶	۲۲۳۰۵	۶۸۱	-۳٪
رسوب گذاری	تپه‌های ماسه‌ای فعال	۱۴۴	۸۱	۶۳	-۴۴٪
جمع		۴۹۷۲۰	۳۸۹۳۶	۱۰۷۸۴	-۲۲٪

منبع: یافته‌های پژوهش

+ اضافه شده  
- کاهش یافته

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۱۱ نشان می‌دهد که اولاً، مساحت لندفرم‌ها در این دوره زمانی توسط کاربری اراضی کاهش یافته، و ثانياً بعضی از لندفرم‌ها بطور کلی حذف و به کاربری‌های اراضی با فعالیت‌های انسانی (بیولوژیکی، مسکونی یا صنعتی) تبدیل شده‌اند، مانند لندفرم‌های ۷ و ۸. همچنین بیشترین تغییرات از نظر درصد مساحت در لندفرم‌های شماره ۱۱ و ۵ صورت گرفته که همگی دارای فرسایش آبی در حد شیاری می‌باشند که قابلیت تغییر به فعالیت‌های دیگر را دارند. بعد از آنها لندفرم‌های دارای سطوح رسی همراه با نیکا می‌باشد.

تطبيق نقشه‌های کاربری اراضی (شکل‌های ۶ و ۷) و ژئومرفولوژی بادی (شکل‌های ۹ و ۱۰) نیز نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات کاربری در منطقه جدایش خاک به عنوان مناطق مستعد فرایند برداشت رخ داده است، و عمدتاً تبدیل اراضی مرتع به کشاورزی و باغات و همچنین تبدیل اراضی کشاورزی و باغات اطراف شهرها به کاربری صنعت و معدن و مسکونی بوده است (جدول ۱۰).

مطالعات این پژوهش و بازدیدهای صحرائی، بعنوان مطالعات تکمیلی، نشان داد که تغییرات کاربری در بالا دست (منطقه برداشت) به شدت بر اشکال تراکمی ماسه همانند نبک‌ها در لندفرم‌های منطقه حمل تاثیر و آنها را تخریب و یا از بین برده است (شکل ۱۱).

تفسیر تصاویر ماهواره، عکس‌های هوایی و بازدید صحرائی نشان داد که سطوح لندفرم‌ها در این دوره زمانی بیشتر بطرف نمک دار شدن رفته و یک روند شور شدگی ثانویه در منطقه در حال اتفاق افتادن است، که یک مطالعه بنیادی دیگری را می‌طلبد.

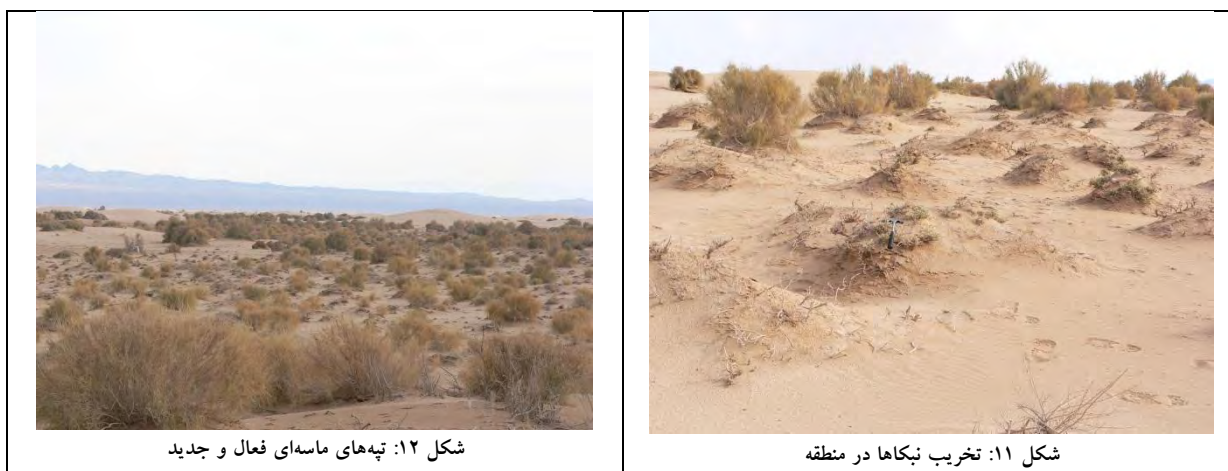
### نتیجه‌گیری و دستاوردهای پژوهشی

این مطالعه بر اساس تغییر لندفرم‌های بیابانی (پایه گذاری شده بر فرایند باد) توسط تغییر کاربری انسانی انجام شد. همانطور که این مطالعه نشان داد بیشترین تغییرات در لندفرم‌های مرحله برداشت یا لندفرم‌های بالا دست فرایند بادی بوده است. این بدین معنی است که باد بعنوان یک سیال وقتی شروع به وزیدن می‌کند، در یک فاصله زمانی یا مکانی بعد از وزیدن، تمایل به تکمیل ظرفیت خود دارد، بنابراین شروع به برداشت و غربال ذرات خاک، رسوب و... بر اساس سرعت آستانه سیاله‌ای خود میکند. پس از تکمیل ظرفیت در فاصله زمانی و یا مکانی معینی (بسته به وضعیت سطح زمین و توان باد) شروع به رسوبگذاری و تراکم ذرات محموله خود میکند. در بین این دو فاصله مکانی، موانع زمین از جمله گیاهان، پستی و بلندی و.. میتوانند بخشی از محموله باد را گرفته و اشکال اولیه‌ای از تراکم ماسه را بوجود آورند.

مطالعه فرایند فوق در منطقه نشان میدهد تا زمانی که تغییرات کاربری در منطقه زیاد و چشمگیر نبوده، این فرایند بطور طبیعی عمل می‌کرده و یک تعادل نسبی بین فرسایش و رسوبگذاری وجود داشته است. با تغییرات گسترده کاربری سرزمین در منطقه و بخصوص در منطقه برداشت، مناطق برداشت از دسترس باد خارج شده، بنابراین، باد فعالیت خود را به منطقه حمل منتقل و گسترش داده است، نتیجه این عمل، تخریب و فعال شدن لندفرم‌های تراکمی ماسه در منطقه حمل از جمله نبک‌ها، ربدوها و... و همچنین اراضی حساس به فرسایش در این منطقه بوده است (شکل ۱۱). نتیجه فعالیت باد در منطقه حمل و تخریب لندفرم‌های تراکمی ماسه باعث ایجاد تپه‌های ماسه‌ای جدید و فعال در منطقه شده است که در حال حاضر ۸۱ هکتار از منطقه را پوشش داده است (شکل ۱۲).

با توجه به پراکنش زیاد ارگ (مجموعه تپه ماسه‌ای) در ایران از طرفی و تغییرات مکانی و زمانی کاربری اراضی، دستاوردهای این پژوهش را می‌توان در مناطق دیگر نیز به کار برد. همچنین دستاورد این پژوهش نشان می‌دهد که تغییر کاربری اراضی به صورت جدی سیمای لندفرم را تغییر و آشفتگی‌ایی در لندفرم‌های طبیعی به وجود می‌آورد، که به طبع آن تغییرات مکانی را در مراحل فرایند بادی ایجاد می‌کند.





شکل ۱۲: تپه‌های ماسه‌ای فعال و جدید

شکل ۱۱: تخریب نیکاه‌ها در منطقه

### منابع

- حنیفه پور، مهین؛ مشهدی، ناصر و خسروی، حسن (۱۳۹۲). تاثیر شدت و مدت خشکی بر وضعیت باد و فرسایش بادی در اراضی کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان دامغان)، فصل‌نامه علمی- پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی، جلد ۲ شماره ۳.
- رشیدیان، فلور؛ برادران کاظمیان، پانیز (۱۳۹۰). بررسی تغییر کاربری اراضی دامغان از ۱۳۳۴-۱۳۸۵، پایان‌نامه کارشناسی، دانشکده علوم و فنون دریایی (فنی و مهندسی شماره ۳)، تهران.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۷۰). نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰
- سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۷۱). نقشه زمین شناسی
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۳۵). عکس‌های هوایی، ۱:۵۵۰۰۰
- سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۱.
- عظامرادی، بهمن (۱۳۷۸). بررسی اشکال و نوع تپه‌های ماسه‌ای به منظور مبارزه با فرسایش بادی در ارگ دامغان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان دانشگاه تهران.
- مشهدی، ناصر؛ کریم‌پور، مجید و محمد خان، شیرین (۱۳۹۲). تاثیر تغییر کاربری اراضی منابع ماسه در فرایند فرسایش بادی (مطالعه موردی: ارگ دامغان)، گزارش نهایی طرح پژوهشی، معاونت پژوهشی دانشگاه تهران
- Alcántara-Carrió, J. and Alonso, I., 2001. Aeolian sediment availability in coastal areas defined from sedimentary parameters. Application to a case study in Fuerteventura. *Scientia Marina*, 65(S1), pp.7-20.
- Anderson, R.S. and Haff, P.K., 1991. Wind modification and bed response during saltation of sand in air. In *Aeolian Grain Transport 1* (pp. 21-51). Springer, Vienna.
- Crawley, D.M. and Nickling, W.G., 2003. Drag partition for regularly-arrayed rough surfaces. *Boundary-Layer Meteorology*, 107(2), pp.445-468.
- Dewidar, K.M., 2004. Detection of land use/land cover changes for the northern part of the Nile delta (Burullus region), Egypt. *International journal of remote sensing*, 25(20), pp.4079-4089.
- Di Gregorio, A. and Jansen, L.J., 1997, October. A new concept for a land cover classification system. In *Proceedings of the Earth Observation and Environmental Information 1997 Conference*. Alexandria, Egypt (pp. 13-16).
- FAO 1999. Land Use Classification for Agri-Environmental Statistics/Indicators. Submitted by Statistics Division, FAO, Rome. Working paper No.13
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K. and Helkowski, J.H., 2005. Global consequences of land use. *science*, 309(5734), pp.570-574.
- Foroutan, H., Young, J., Napelenok, S., Ran, L., Appel, K.W., Gilliam, R.C. and Pleim, J.E., 2017. Development and evaluation of a physics-based windblown dust emission scheme implemented in the CMAQ modeling system. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 9(1), pp.585-608.

- Glennie, K.W., Pugh, J.M. and Goodall, T.M., 1994. Late quaternary Arabian desert models of Permian Rotliegend reservoirs. *Exploration Bulletin*, 274, pp.1-19.
- Gomes, L., Arrue, J.L., Lopez, M.V., Sterk, G., Richard, D., Gracia, R., Sabre, M., Gaudichet, A. and Frangi, J.P., 2003. Wind erosion in a semiarid agricultural area of Spain: the WELSONS project. *Catena*, 52(3-4), pp.235-256.
- Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X. and Briggs, J.M., 2008. Global change and the ecology of cities. *science*, 319(5864), pp.756-760.
- Hagen, L.J., 2001. Process of soil erosion by wind. In *Ann. Arid Zones*.
- He, Q., Yang, X., Mamtimin, A. and Tang, S., 2011. Impact factors of soil wind erosion in the center of Taklimakan Desert. *Journal of arid land*, 3(1), pp.9-14.
- Hotta, S., Kubota, S., Katori, S. and Horikawa, K., 1985. Sand transport by wind on a wet sand surface. In *Coastal Engineering 1984* (pp. 1265-1281).
- Jansen, L.J. and Di Gregorio, A., 2002. Parametric land cover and land-use classifications as tools for environmental change detection. *Agriculture, ecosystems & environment*, 91(1-3), pp.89-100.
- Jansen, L.J. and Di Gregorio, A., 2003. Land-use data collection using the "land cover classification system": results from a case study in Kenya. *Land Use Policy*, 20(2), pp.131-148.
- Kocurek, G. and Havholm, K.G., 1993. Eolian sequence stratigraphy-a conceptual framework. *MEMOIRS-AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGISTS*, pp.393-393.
- Kocurek, G. and Lancaster, N., 1999. Aeolian system sediment state: theory and Mojave Desert Kelso dune field example. *Sedimentology*, 46(3), pp.505-515.
- Liu, J., Liu, M., Zhuang, D., Zhang, Z. and Deng, X., 2003. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995-2000. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 46(4), pp.373-384.
- Liu, J., Zhang, Z., Xu, X., Kuang, W., Zhou, W., Zhang, S., Li, R., Yan, C., Yu, D., Wu, S. and Jiang, N., 2010. Spatial patterns and driving forces of land use change in China during the early 21st century. *Journal of Geographical Sciences*, 20(4), pp.483-494.
- Mainquet, M., 1986. The wind and desertification processes in the Saharo-Sahelian and Sahelian regions. In *Physics of desertification* (pp. 210-240). Springer, Dordrecht.
- Mashhadi, N., Hanifehpoor, M., Amiraslani, F. and Mohamadkhan, S., 2016. A study on the wind erosion potential of agricultural lands after crop harvesting (Case study: Damghan Region). *Desert*, 21(2), pp.131-141.
- McKee, E.D., 1966. Structures of dunes at White Sands National Monument, New Mexico (and a comparison with structures of dunes from other selected areas). *Sedimentology*, 7(1), pp.3-69.
- Minvielle, F., Marticorena, B., Gillette, D.A., Lawson, R.E., Thompson, R. and Bergametti, G., 2003. Relationship between the aerodynamic roughness length and the roughness density in cases of low roughness density. *Environmental Fluid Mechanics*, 3(3), pp.249-267.
- Morie, N.D., 2007. Land Use And Land Cover Changes In Hareenna Forest And Surrounding Area Bale Mountains National Park Oromia National Regional State Ethiopia. Addis Ababa: Addis Ababa University.
- Muhs, D.R., Reynolds, R.L., Been, J. and Skipp, G., 2003. Eolian sand transport pathways in the southwestern United States: importance of the Colorado River and local sources. *Quaternary International*, 104(1), pp.3-18.
- Musa, M.K. and Odera, P.A., 2015. Land Use Land Cover Changes and their Effects on Food Security: A Case Study of Kiambu County-Kenya. *Kabarak Journal of Research & Innovation*, 3(1), pp.74-86.
- Narrain, P. and Koroluk, R., 1999. Land Use Classification for Agri-environmental Statistic/Indicators, Statistical Commission and Economic Commission for Europe, Conference of European Statisticians (No. 13). Working Paper.
- Nickling, W.G. and Ecclestone, M., 1981. The effects of soluble salts on the threshold shear velocity of fine sand. *Sedimentology*, 28(4), pp.505-510.
- Nickling, W.G., 1984. The stabilizing role of bonding agents on the entrainment of sediment by wind. *Sedimentology*, 31(1), pp.111-117.
- Raupach, M.R., Gillette, D.A. and Leys, J.F., 1993. The effect of roughness elements on wind erosion threshold. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 98(D2), pp.3023-3029.

- Sarre, R.D., 1988. Evaluation of aeolian sand transport equations using intertidal zone measurements, Saunton Sands, England. *Sedimentology*, 35(4), pp.671-679.
- Scanlon, B.R., Reedy, R.C., Stonestrom, D.A., Prudic, D.E. and Dennehy, K.F., 2005. Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US. *Global Change Biology*, 11(10), pp.1577-1593.
- Siddoway, F.H., Chepil, W.S. and Armbrust, D.V., 1965. Effect of kind, amount, and placement of residue on wind erosion control (Doctoral dissertation, Kansas State University).
- Vörösmarty, C., Lettenmaier, D., Leveque, C., Meybeck, M., Pahl-Wostl, C., Alcamo, J., Cosgrove, W., Grassl, H., Hoff, H., Kabat, P. and Lansigan, F., 2004. Humans transforming the global water system. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 85(48), pp.509-514.
- Willets, B.B., Rice, M.A. and Swaine, S.E., 1982. Shape effects in aeolian grain transport. *Sedimentology*, 29(3), pp.409-417.
- Williams, G., 1964. Some aspects of the eolian saltation load. *Sedimentology*, 3(4), pp.257-287.
- Wolfe, S.A. and Nickling, W.G., 1996. Shear stress partitioning in sparsely vegetated desert canopies. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21(7), pp.607-619.
- Wu, J., 2008. Land use changes: Economic, social, and environmental impacts. *Choices*. 23 (4): 6-10, 23(4), pp.6-10.

