نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۶ شماره ۴/۲ صفحه‌های ۲۵۷ تا ۲۷۱ / سال ۱۳۹۵

# تأثیر تیپ جامعه گیاهی بر توزیع اندازه خاکدانه‌ها در حوضه گنبد (همدان)

**خدیجه سالاری نیک[۱]، محسن نائل*[۲]، علی اکبر صفری سنجانی[۳]، قاسم اسدیان[٤]**

تاریخ دریافت: ۹٤/۰٦/۰٦ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۰٤

[۱]-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

[۲]-استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

[۳]- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

[٤]- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: moh_nael@yahoo.com

**چکیده**

مقدار و ترکیب بیوشیمیایی بقایای گیاهی وارد شده به خاک بر سرعت خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه‌ها مؤثر است. به‌منظور بررسی تأثیر پوشش‌های گیاهی مختلف بر توزیع اندازه خاکدانه‌ها، پنج تیپ گیاهی شامل گندم دیم، گندمیان، گون-بروموس، گون-جارو و گون-درمنه در شرایط محیطی مشابه از نظر مواد مادری و جهت شیب در حوضه آبخیز گنبد واقع در همدان، مطالعه شد. کربن آلی کل، کربوهیدرات، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، توزیع اندازه خاکدانه و کربن خاکدانه‌ای در خاک سطحی (۱۵-۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد. کربن آلی، کربوهیدرات، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و کربن آلی خاکدانه‌ای (موجود در همه بخش‌های اندازه خاکدانه‌ای) در خاک‌های تحت پوشش گون-بروموس و گون-درمنه به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک تحت تیپ‌های دیگر بود و کمترین مقدار این شاخص‌ها در خاک‌های دارای پوشش گندمیان و گندم دیم مشاهده شد. بیشترین درصد خاکدانه‌های بزرگتر از ۲ میلی‌متر و کمترین درصد خاکدانه‌های کوچکتر از ۰/۵ میلی‌متر در خاک تیپ گون-بروموس مشاهده شد. در تیپ‌های گون-بروموس و گون-درمنه مقدار تاج پوشش گیاهی، تولید سالانه، تنوع گونه‌ای و لاشبرگ بیشتر از دیگر تیپ‌ها اندازه‌گیری شد. تیپ گندم دیم به‌علت عملیات خاک‌ورزی و تیپ‌های گون-جارو و گندمی به علت پوشش گیاهی کم در پی عمل چرا، خاک-دانه‌سازی و درصد خاکدانه‌های بزرگتر از ۲ میلی‌متر کمی داشته؛ اندازه خاکدانه‌های ۰/۵-۰/۰۵۳ میلی‌متر در خاک تیپ‌های مذکور بیشتر از دیگر اندازه خاکدانه‌ها بود. کربوهیدرات کل و اندازه خاکدانه‌های ۰/۵-۰/۰۵۳ میلی‌متر شاخص‌های قابل اعتماد کیفیت خاک هستند که تغییرات کاربری و پوشش گیاهی را نشان می‌دهند.

**واژه‌های کلیدی**: پایداری خاکدانه، تیپ گیاهی، کربن خاکدانه‌ای، کربوهیدرات، کیفیت خاک

# The Effect of Plant Community Type on Soil Aggregate Size Distribution in Gonbad Watershed (Hamadan)

**Kh Salari Nik [1], M Nael *[2], A A Safari Sinegani[3], Gh Assadian [4]**

Received: 28 August 2015 Accepted: 25 October 2016
[1-] M.Sc. Graduate of Soil Science, Faculty of Agric., Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
[2-] Assist. Prof., of Soil Science, Faculty of Agric., Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
[3-] Professor of Soil Science, Faculty of Agric., Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
[4-] Faculty member of Agricultural and Natural Research Center, Hamedan, Iran
[*] Corresponding author, email: moh_nael@yahoo.com

**Abstract**
The combined effects of biochemical composition and amount of plant residues returned to soils affect stability of aggregation and the rate of aggregate turnover. To investigate the influence of vegetation type on aggregate size distribution, five vegetation types including *rainfed wheat* (RW), *grasses* (G), *Astragallus–Bromus* (A-B), *Astragallus–Lactuca* (A-L) and *Astragallus–Artemisi*a (A-A) were studied under similar environmental conditions in terms of parent material and slope aspect in Gonbad watershed, Hamadan. Total organic carbon (TOC), soil carbohydrates (Ch), mean weighted diameter (MWD), size distribution of water-stable aggregates (AS) and aggregate carbon (AC) were measured in surface (0-15 cm) soils. The amounts of TOC, Ch, MWD and AC (present in all aggregate size fractions) were significantly greater in soils under A-B and A-A than the soils of other vegetation covers, while the lowest values were observed in soils under RW and G. The highest AS>2 mm and lowest AS<0.5 mm were observed in soil with A-B cover. Aggregates > 2 mm were lower in soils under A-L, G and RW compared to other aggregate sizes. A-B and A-A vegetation types had greater canopy, annual production, plant diversity and litter content compared to other vegetation types. Frequent soil ploughing in RW site and low plant diversity and canopy cover in A-L and G sites contributed to reduced soil aggregation and lower content of coarse aggregates; AS in 0.5-0.053 (mm) fraction in soils of aforementioned vegetation types was greater than other aggregate sizes. It was concluded that Ch and 0.5-0.053 (mm) aggregate size fraction might be reliable soil quality indicators that reflected land use and vegetation type changes.

**Key words**: Aggregate carbon, Aggregate stability, Carbohydrate, Soil quality, Vegetation type

**مقدمه**

پوشش گیاهی غالب هر منطقه و نوع و ترکیب مواد آلی حاصل از باقی‌مانده‌های گیاهی که مرتباً به خاک افزوده می‌شوند تأثیر به‌سزایی در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک یا به‌عبارتی کیفیت خاک دارند. اسلام و ویل (۲۰۰۰) نشان دادند که تخریب پوشش گیاهی و تبدیل آن به زمین‌های زراعی عامل تخریب اکوسیستم‌های طبیعی بوده و موجب کاهش کیفیت خاک خواهد شد. برای کمّی کردن کیفیت خاک، ویژگی‌هایی از خاک اندازه‌گیری می‌شود. انتخاب ویژگی‌هایی که بتواند بیان‌گر کیفیت خاک باشد از اهمیت بالایی برخوردار است.

پژوهش‌گران مختلف اهمیت کیفیت فیزیکی خاک را در رشد گیاه، و وضعیت شیمیایی و زیستی خاک

بیان کرده‌اند. به عقیده کای (۱۹۹۰) پایداری خاک‌دانه‌ها شاخص مناسبی به‌منظور نشان‌دادن تأثیر کاربری‌های گوناگون بر خاک است. خاک‌دانه‌سازی یک فرآیند مهم برای پایداری مواد آلی خاک به‌ویژه در خاک‌های غنی از مواد آلی می‌باشد (سیکس و همکاران ۲۰۰۰، لوتزو و همکاران ۲۰۰۶). به‌علاوه، خاکدانه‌ها حاصل‌خیزی خاک را با کاهش فرسایش و بهبود هوادهی، نفوذ آب، نگهداری آب و چرخه عناصر غذایی بهبود می‌بخشد (سیکس و همکاران ۲۰۰۰).

نقش کربوهیدرات در بهبود ساختمان خاک متفاوت است که وابسته به منبع و ماهیت کربوهیدرات، ویژگی‌های خاک‌دانه و فاکتورهای محیطی است. کربوهیدرات‌های گیاهی اغلب اندازه بزرگتری داشته و در بخش شن قرار دارند، در حالی‌که کربوهیدرات‌های تولید شده به‌وسیله فعالیت میکروبی ریزتر است و در بخش رس و سیلت حضور دارند. به‌علاوه، کربوهیدرات‌های میکروبی به تجزیه مقاوم هستند. کاهش شخم، افزایش کود سبز و پوشش گیاهی غلظت کربوهیدرات‌ها را افزایش و ساختمان خاک را بهبود می‌بخشد (برونیک و لال ۲۰۰۵).

روش‌های فیزیکی بخش‌بندی مواد آلی خاک، برای تعیین ارتباط بین مواد آلی خاک و ذرات اولیه و کمّی کردن مقدار مواد آلی بین و درون خاک‌دانه‌ها به کار می‌رود (پاگت و همکاران ۲۰۰۰، بیر و همکاران ۱۹۹٤). ترکیب بیوشیمیایی و مقدار بقایای گیاهی وارد شده به خاک و عناصر شیمیایی رها شده از گیاهان روی شدت و پایداری خاک‌دانه‌سازی و سرعت باز چرخش خاک‌دانه‌ها اثر می‌گذارند. خاک‌دانه‌سازی به‌طور معنی‌داری با افزایش طول ریشه، جامعه میکروبی و درصد تاج پوشش افزایش می‌یابد (ریلیگ و همکاران ۲۰۰۲).

دیوید و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر پوشش گیاهی بر کربن آلی خاک در اکوسیستم‌های خشک را مطالعه کردند و دریافتند که پایداری خاک‌دانه میان انواع پوشش گیاهی تغییرات کمی داشته است؛ مقدار کم رس، ماده آلی و کانی‌های رسی با فعالیت کم که می‌تواند برهم‌کنش مناسب بین کانی-کانی و کانی-ماده آلی را مختل کند، علت این مشاهده ذکر شده است. استاوی و همکاران (۲۰۱۱) بخش خاک‌دانه‌های ۵-۱ میلی‌متر را به‌عنوان شاخص کیفیت خاک مراتع در فصول و جهت شیب‌های مختلف، مدیریت‌های مختلف چرا و پوشش-های مختلف سطح زمین مورد مطالعه قرار دادند. بیشترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (*MWD*) و خاک‌دانه‌های ۵-۱ میلی‌متر در فصل بهار، در شیب‌های شمالی و دارای پوشش بوته‌ای و کمترین در مسیر حرکت دام مشاهده شد. بیرد و همکاران (۲۰۰۲) دریافتند که خاک تحت پوشش گیاه کهور، نسبت به خاک گندم‌زارها و خاک بین بوته‌ای دارای خاک‌دانه پایدارتر و مقدار کربن آلی بیشتر است.

تا به‌حال در حوضه آبخیز گنبد، پژوهش‌هایی در زمینه اثر چرای دام و جهت شیب بر برخی از شاخص-های بیولوژیک کیفیت خاک صورت گرفته است (حاجی‌لو ۱۳۸۹، بهرامی ۱۳۹۱) ولی از آنجایی‌که چرای بی‌رویه و زراعت دیم در اراضی حاشیه‌ای این حوضه خطر فرسایش آبی را تشدید کرده است، انجام مطالعات تکمیلی در این حوضه بسیار ضروری است. در حوضه آبخیز گنبد واقع در استان همدان، کاربری زراعت دیم و نیز مدیریت چرای کنترل شده باعث استقرار پوشش-های گیاهی مختلف شده است. از آنجایی‌که این عوامل تأثیرات مستقیم و غیر مستقیمی بر فرآیندهای تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها، و به تبع آن فرسایش آبی دارند، پژوهش حاضر به بررسی تأثیر پوشش‌های گیاهی مختلف بر پایداری خاک‌دانه‌ها و کمّیت و کیفیت بخش-های کربن آلی خاک در این حوضه پرداخته است.

## مواد و روش‌ها

حوضه آبخیز دوگانه گنبد با مجموع مساحتی نزدیک به ۲۹۰ هکتار میان طول جغرافیایی ۵ ′٤١ °٤٨ تا

۱۷ ′۴۲ °۴۸ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۱۶ ′۴۱ °۳۴ تا۳۱ ′۴۲ °۳۴ شمالی در ۲۸ کیلومتری جنوب شرقی همدان قرار دارد و دارای دو زیرحوضه شاهد و چرای کنترل‌شده است. ویژگی‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژیک و تنوع خاک‌ها در دو زیرحوضه مشابه یکدیگر است. خاک این حوضه از شیست‌های سیاه و خاکستری تشکیل و تحول یافته است. در زیرحوضه شاهد، درون رفت و بیرون رفت دام در سراسر فصل چرا آزاد بوده ولی در زیرحوضه چرای کنترل‌شده از سال ۱۳۸۱، چرای تأخیری انجام می‌شود؛ به‌طوری‌که از میانه مهرماه و در پایان فصل رشد یعنی پس از رسیدن و پخش شدن بذرها، تنها برای زمان کوتاهی نزدیک یک ماه، دام‌ها برای چرا به حوضه می‌روند. میانگین بارش سالانه منطقه ۳۰۴/۴ میلی‌متر و میانگین سالانه دمای منطقه ۹/۵ درجه سلسیوس است (بی‌نام ۱۳۸۷). خاک این حوضه در زیرگروه‌های Typic Calcixerepts، Typic Haploxerepts و Lithic Xerorthents طبقه‌بندی شده است (بهرامی ۱۳۹۱).

برای بررسی تأثیر نوع پوشش گیاهی بر پایداری خاکدانه‌ها، ۴ تیپ مرتعی در زیرحوضه چرای کنترل شده انتخاب شد. تیپ‌های مرتعی شامل: ۱- تیپ گندمیان (*grasses*): در سال ۱۳۸۸، بخشی از این زیرحوضه به‌صورت غیرقانونی و مخفیانه شخم شده و قبل از کاشت هر نوع گیاه زراعی، گونه‌های مرتعی *Agropyron desertrum* و*Agropyron elongatum* توسط اداره منابع طبیعی در این بخش کاشت شده است. گونه‌های بوته‌ای در این محدوده تقریباً به‌طور کامل از بین رفته است و در حال حاضر روند احیا را طی می‌کند. ۲- تیپ گون-برموس (*Astragallus–Bromus*)، ۳- تیپ گون-درمنه (*Astragallus–Artemisia*)، و ۴- تیپ گون-جارو (*Astragallus–Lactuca*) بودند. در هر کدام از تیپ‌های گیاهی فوق انواع مختلفی از گونه‌های گیاهی وجود داشت که این گونه‌های گیاهی به پنج شکل رویشی شامل گندمیان یکساله، گندمیان چندساله، پهن‌برگان یکساله، پهن‌برگان چندساله و بوته‌ای تفکیک شدند. لازم به ذکر است که نام‌گذاری تیپ‌های مرتعی بر اساس گونه (یا گونه‌های) غالب در هر تیپ صورت گرفته است. در عرصه مرتعی خارج از حوضه گنبد که از نظر کلیه شرایط محیطی مشابه ۴ تیپ انتخاب شده بود، یک مزرعه تحت کشت گندم دیم (*rainfed wheat*) انتخاب شد که بیشتر از سی سال مورد بهره‌برداری زراعی بوده است؛ در زمان نمونه‌برداری این زمین شخم شده و در حالت آیش بود. همه تیپ‌های گیاهی در جهت شیب شمال شرقی قرار داشته و مقدار شیب در تیپ‌های گیاهی مختلف در محدوده ۱۵ تا ۲۵ درصد در تغییر است که دو تیپ گون-درمنه و گون-برموس در بین تیپ‌های گیاهی مورد مطالعه دارای شیب نسبتاً بیشتری بودند. خاک‌های تیپ‌های مورد مطالعه از نوع درجا بوده و از نظر مواد مادری کاملاً مشابه می‌باشند.

نمونه‌برداری گیاه در آبان ماه ۱۳۹۱ انجام شد. در هر تیپ سه قاب، با ابعاد ۱×۱ متر مربع مطالعه شد. پیش از نمونه‌بردای از گیاه، کل تاج پوشش گیاهی و تاج پوشش پنج فرم رویشی در هر قاب تعیین شد. سپس تاج پوشش سطحی برداشت شد به گونه‌ای که اندام هوایی برای گیاهان یکساله از یک سانتی‌متری سطح زمین و برای گیاهان پهن برگ و گندمی چند ساله از پنج سانتی‌متری سطح زمین قطع شد. برای گیاهان بوته‌ای نظیر گون و کلامیرحسن تنها اندام هوایی تولید شده درسال جاری قطع شد. تمام نمونه‌های گیاهی جمع‌آوری شده پس از انتقال به آزمایشگاه خشک شد و برای تعیین تولید سالانه وزن شد.

برای اندازه‌گیری تنوع گونه‌ای از شاخص‌های سیمپسون (۱۹۴۹) و شانون-وینر (۱۹۶۳) که به‌صورت زیر تعریف شده‌اند استفاده گردید.

$$\gamma = \sum_{i=1}^{s} p_i^2 \qquad [۱]$$

$$H' = \sum_{i=1}^{s} p_i \ln p_i \qquad [۲]$$

در این رابطه‌ها، $\gamma$ و $H'$ مقدار شاخص، $s$ تعداد کل گونه‌ها و $p_i$ نسبتی از کل افراد (تعداد گیاه) موجود در نمونه است که متعلق به گونه ***i*** باشد. مقادیر شاخص سیمپسون بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند و بدون واحد می‌باشد. درحالی که تغییرات شاخص شانون–وینر بین ۱ تا ٤ است. در هر دو شاخص عدد کوچکتر بیان‌گر جوامع گیاهی با پراکندگی و تنوع گونه‌ای کم و عدد بزرگتر بیان‌گر جوامع دارای غنا و تنوع گونه‌ای بالا می‌باشد.

نمونه‌برداری از خاک سطحی (۱۵–۰ سانتی‌متری) نیز در آبان‌ماه و در داخل همان قاب‌ها، با سه تکرار و به‌طور تصادفی انجام شد. با توجه به بالا بودن رطوبت نمونه‌های خاک و فشرده شدن خاک در این زمان، یک نمونه‌برداری دیگر در اوایل خرداد ماه ۱۳۹۲ انجام شد و برای اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها ($MWD$) از این نمونه‌ها استفاده شد. در این زمان خاک کاملاً خشک بود و در هنگام انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه نیز سعی شد خاکدانه‌ها تحت فشار قرار نگیرند. در این زمان (خرداد ماه) نمونه‌برداری گیاهی نیز مجدداً انجام شد به این‌ترتیب‌که در هر تیپ گیاهی سه قاب، با ابعاد ۱*۱ متر مربع مطالعه شد و قبل از برداشت نمونه‌های خاک، ابتدا درصد پوشش سنگریزه سطحی با قطر بزرگتر از ۲ سانتی‌متر، پوشش گیاهی، لاشبرگ و خاک لخت در هر قاب تعیین شد. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه هوا خشک شده و مقداری از نمونه‌ها برای تعیین $MWD$ از الک ٤ میلی‌متری عبور داده شد (حاجی‌لو ۱۳۸۹، اطمینان و همکاران ۱۳۹۰، بهرامی ۱۳۹۱) و یک نمونه ترکیبی از این نمونه‌ها برای هر قاب تهیه شد. بقیه خاک بعد از کوبیده شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. بخش بزرگتر از ۲ میلی‌متر از بخش ریزتر جدا و به‌عنوان سنگریزه لایه سطحی اندازه‌گیری گردید.

برای تعیین $MWD$ از روش الک مرطوب (کامباردلا و الیوت ۱۹۹٤) با سری الک‌های ۰/۰۵۳، ۰/۵ و ۲ میلی‌متر بهره گرفته شد. الک کردن با نوسان (دامنه رفت و برگشت) ۳ سانتی‌متر (اسمتم و همکاران ۱۹۹۲) و تندی ۳۰ دور در دقیقه برای مدت زمان ۵ دقیقه درون سطل پر از آب با حرکت رفت و برگشتی انجام شد. در این پژوهش زمان الک کردن بر پایه گزارش خزایی (۱۳۸٦) برای خاک‌های همدان ۵ دقیقه برگزیده شد. پس از پایان الک کردن، الک‌ها به‌آرامی از درون سطل بیرون آورده شد و خاکدانه‌های مانده روی هر کدام از آن‌ها جمع‌آوری و در آون در دمای ٦۰–۵۵ درجه سلسیوس، برای جلوگیری از سوختن ماده آلی، برای ۲ تا ۳ روز خشک شدند. خاکدانه‌های عبور کرده از الک ۰/۰۵۳ نیز جمع‌آوری شدند. پس از وزن کردن هر سری از خاک‌دانه‌ها، درصد شن و سنگریزه با گل‌خرابی و گذراندن آن‌ها از همان الک اندازه‌گیری شد. همین‌طور اصلاح رطوبتی روی نمونه‌ها (وزن آون خشک ۵۰ گرم خاک) انجام شد. با بهره‌گیری از رابطه‌های زیر، درصد خاک‌دانه‌های پایدار($AS$) روی هر الک و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها ($MWD$) تعیین شد.

$$\%AS = (w_i - w_s) / (w_t - w_{st}) \qquad [۳]$$

در این رابطه $\%AS$: درصد خاکدانه‌های پایدار با قطر معین، $W_i$: وزن خاک مانده روی هر الک پس از آزمایش، $W_s$ : وزن دانه‌های شن وسنگریزه روی هر الک، $W_{st}$: وزن همه دانه‌های شن وسنگریزه خاک و $W_t$: وزن کل نمونه خاک آون خشک برای هر آزمایش می‌باشد.

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} x_i \times w_i \qquad [۴]$$

در رابطه بالا $MWD$: میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها (میلی‌متر)، $x_i$: میانگین قطر خاک‌دانه‌ها و $w_i$ : نسبت وزن خشک خاک‌دانه‌ها پس از الک تر به وزن کل خاک‌دانه‌ها روی هر الک است.

مقدار کربن آلی کل و کربن آلی در چهار گروه اندازه خاک‌دانه به روش اکسایش تر (والکی و بلک ۱۹۳٤) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کربوهیدرات از روش حمام بخار و فنل–اسیدسولفوریک (دبویز و همکاران ۱۹٥٦) استفاده شد.

در این پژوهش ٥ تیپ گیاهی (تیمار) مورد مقایسه قرار گرفتند. کربن آلی و کربوهیدرات در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه واحد آزمایشی (قاب) و با سه نمونه در هر واحد آزمایشی، جمعاً با ۹ تکرار تجزیه آماری شدند. دیگر شاخص‌ها بر اساس طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بررسی شدند. برای تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.1 بهره‌گیری شد. قبل از انجام تجزیه آماری، داده‌ها نرمال شدند. آزمون میانگین هر یک از ویژگی‌های یاد شده به‌روش دانکن در پایه پنج درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

ویژگی‌های گیاهی و محیطی تیپ‌های گیاهی مختلف در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. مقدار تنوع گونه‌ای و لاشبرگ در تیپ گون–بروموس بیشتر از دیگر تیپ‌ها بود و در تیپ گندمی کمترین تنوع گونه‌ای مشاهده شد (جداول ۱ و ۲). تیپ گون–درمنه در منطقه چرای کنترل‌شده قرار دارد و همچنین دارای شیب بیشتری است، بنابراین کمتر چرا می‌شود، از این رو دارای پوشش گیاهی خوب (۸۱/۳ ٪) بوده که بیشتر از نوع گیاهان بوته‌ای و چندساله است. با اعمال مدیریت چرای کنترل‌شده مقدار تاج پوشش گیاهی به ویژه گندمیان چندساله، که جزء گونه‌های خوش‌خوراک هستند، افزایش یافته است. با افزایش تاج پوشش گیاهی، مقدار تولید سالانه نیز افزایش یافته است. کرایج و میلتون (۲۰۰٦) نشان دادند که در طی قرق ۱۰ ساله، شرایط مرتع بهتر شده و گیاهان خوش‌خوراک افزایش و پوشش گندمیان یکساله کاهش و گندمیان چندساله افزایش یافتند. بافت خاک در بین تیپ‌های گیاهی از رسی تا کلاس لوم، در تیپ زراعی، تغییر پیدا کرده است (جدول ۳). این تفاوت احتمالاً به‌دلیل تجزیه مواد آلی و از هم پاشیده‌شدن خاک‌دانه‌ها در اراضی تحت کشت، و حمل ذرات ریزتر از طریق فرسایش و به‌جای ماندن ذرات درشت‌تر می‌باشد.

**جدول ۱- آزمون پیامد تیپ‌های گیاهی بر ویژگی‌های پوشش گیاهی در فصل بهار و تولید سالانه در آبان ۹۱.**

| تیپ گیاهی | تنوع گونه‌ای | | | تولید سالانه ($g\ cm^{-2}$) | | | | | | تاج پوشش (٪) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Simpson | Shannon-Wiener | TP | Sh | AG | PG | AF | PF | TC | Sh | AG | PG | AF | PF |
| گندمیان | ۰/۲٤۲ | ۰/٥۹۸ | ۱۷/۷٦$^{c}$ | ۰/۲$^{b}$ | ۰/۰۳$^{a}$ | ۰/٦$^{b}$ | ۰/۰۳$^{a}$ | ۱٦/۹$^{a}$ | ۳۰$^{b}$ | ۱۰/۷$^{ab}$ | ٥$^{ab}$ | ۰/۷$^{b}$ | ۳/۳$^{a}$ | ۱۰/۳$^{a}$ |
| گون- جارو | ۰/۷٥۲ | ۲/۲٤۱ | ٤٥/۱$^{bc}$ | ۳٥/۸$^{ab}$ | ۱/٥$^{a}$ | ۰ | · | ۷/۸$^{a}$ | ۳۰/۸$^{b}$ | ۱۰/۷$^{ab}$ | ۱٤/۷$^{a}$ | ۱/۷$^{b}$ | .$^{b}$ | ۳/۷$^{a}$ |
| گون–بروموس | ۰/۷٦۹ | ۲/٦٤٥ | ۸۱/۸$^{ab}$ | ٤۱/۲$^{ab}$ | ۲/۹$^{a}$ | ۱۹/٦$^{a}$ | ۲/۲$^{a}$ | ۱٥/۹$^{a}$ | ۷۰/٦$^{a}$ | ۲٤$^{a}$ | ۱۱/۳$^{a}$ | ۲۸/۳$^{a}$ | .$^{b}$ | ۷$^{a}$ |
| گون- درمنه | ۰/٥۸٦ | ۱/۹۲۲ | ۱۰٦/۳$^{a}$ | ۷٦/۹$^{a}$ | ۱/۹$^{a}$ | ۲۰/۲$^{a}$ | · | ۷/۳$^{a}$ | ۸۱/۳$^{a}$ | ۲۹/۳$^{a}$ | ۸/۷$^{a}$ | ۳۹$^{a}$ | ٤/۳$^{a}$ | .$^{b}$ |

TC=تاج پوشش کل (Total Canopy)، TP=تولید سالانه کل (Total Production)، Sh= بوته‌ای (Shrub)، AG= گندمیان یکساله ( Annual Grass)، PG= گندمیان چندساله(Perennial Grass)، AF= پهن‌برگان یکساله (Annual Forb)، PF= پهن‌برگان چندساله (Perennial Forb). علائم مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰٥ است. مقادیر صفر برای گونه‌های گیاهی نشان از عدم وجود آن گونه گیاهی در تیپ مورد مطالعه است.

مقدار کربن آلی در خاک‌های تحت پوشش گون–بروموس و گون–درمنه به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک دیگر تیپ‌ها بود و مقدار این شاخص در بین تیپ-های گون–جارو، گندم دیم و گندمیان تفاوت آماری

معنی‌داری نداشت. در حالی‌که مقدار کربوهیدرات در خاک تیپ‌های گون-بروموس و گون-درمنه به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک تیپ‌های گندمیان و گندم دیم بود و مقدار این شاخص در خاک تحت پوشش گون-جارو تفاوت معنی‌داری با خاک دیگر تیپ‌ها نداشت (جدول ۲ و ۳).

**جدول۲- تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های پوشش سطحی و خاک در تیپ‌های گیاهی مختلف در فصل بهار .**

| | | شن | سیلت | رس | سنگریزه زیرسطحی | پوشش سنگ سطحی | خاک لخت | لاشبرگ | کربن آلی کل | کربوهیدرات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | تیمار | ٤ | ٤ | ٤ | ٤ | ٤ | ٤ | ٤ | ٤ | ٤ |
| درجه آزادی | خطا | ١٠ | ١٠ | ١٠ | ١٠ | ١٠ | ١٠ | ١٠ | ١٠ | ١٠ |
| | کل | ١٤ | ١٤ | ١٤ | ١٤ | ١٤ | ١٤ | ١٤ | ١٤ | ١٤ |
| | تیمار | ٤٠٠/٣ | ٧٦٨/٤ | ٤٥٧/٩ | ١٤٨/٩ | ٢٩٧/٧ | ١٤٤٩٠/٢ | ٢٩٤/٥ | ٣/٣ | ٦٣٩٧٦٠٦٩/١ |
| مجموع مربعات | خطا | ٧٠٤/٢ | ١٣٦٦/٣ | ٧٢٤/٨ | ٨٠٤/٩ | ٨٢٨/٥ | ١٩٢٣/٥ | ١٨٣ | ١/٢ | ٣٣٤٤٨٢٦١/١ |
| | کل | ١١٠٤/٥ | ٢١٣٤/٧ | ١١٨٢/٧ | ٩٥٣/٩ | ١١٢٦/٢ | ١٦٤١٣/٧ | ٤٧٧/٥ | ٤/٦ | ٩٧٤٢٤٣٣٠/٢ |
| میانگین مربعات | تیمار | ١٠٠/١ | ١٩٢/١ | ١١٤/٥ | ٣٧/٢ | ٧٤/٤ | ٣٦٢٢/٦ | ٧٣/٦ | ٠/٨ | ١٥٩٩٤٠١٧/٣ |
| | خطا | ٧٠/٤ | ١٣٦/٦ | ٧٢/٥ | ٨٠/٥ | ٨٢/٩ | ١٩٢/٤ | ١٨/٣ | ٠/١ | ٣٣٤٤٨٢٦/١ |
| | F | ١/٤٢ | ١/٤١ | ١/٥٨ | ٠/٤٦ | ٠/٩ | ١٨/٨٣ | ٦/٣٧ | ٦/٨٤ | ٨/٢٩ |
| | P | ٠/٢٩ | ٠/٣ | ٠/٢٥ | ٠/٧٦ | ٠/٥ | ٠/٠٠٠١ | ٠/٠٠٨٢ | ٠/٠٠٦٤ | ٠/٠٠٣٢ |
| ضریب تغییرات | | ٢٢/٢٨ | ٣٩/٧ | ٢٥/٩ | ٢٧/٢ | ١٨٣/٢ | ٢٨/٣ | ٥٢/٥ | ٢٦/٩ | ٤/٢٣ |
| ضریب تعیین | | ٠/٣٦ | ٠/٣٦ | ٠/٣٩ | ٠/١٦ | ٠/٢٦ | ٠/٨٨ | ٠/٧٢ | ٠/٧٣ | ٠/٧٧ |

F: نسبت واریانس بین گروه به واریانس درون گروه‌ها؛ P یا P-value: مقدار احتمال.

**جدول۳- مقایسه برخی ویژگی‌های پوشش سطحی و خاک (۰ تا ۱۵ سانتی‌متر) در تیپ‌های گیاهی مختلف در فصل بهار.**

| | کلاس بافت | شن | سیلت | رس | سنگریزه زیرسطحی | پوشش سنگ سطحی | خاک لخت | لاشبرگ | کربن آلی کل | کربوهیدرات ($mg\ kg^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | (٪) | | | | | |
| گندم دیم | لوم | ٣٦/٩$^{a}$ | ٣٦/٤$^{a}$ | ٢٦/٧$^{a}$ | ٣٤/٤$^{a}$ | ٠/٥ $^{a}$ | ٩٩/٥ $^{a}$ | ٠$^{c}$ | ٠/٨٩$^{c}$ | ١٦٥٣/١$^{b}$ |
| گندمیان | لوم رسی | ٤٠/٣$^{a}$ | ٢٤/٩$^{a}$ | ٣٢/٧$^{a}$ | ٣٣/٨$^{a}$ | ٨/٣ $^{a}$ | ٥٨/٨ $^{b}$ | ٢/٨$^{bc}$ | ٠/٧١$^{c}$ | ٢٢٩٩/٨$^{b}$ |
| گون- جارو | رسی | ٣٣/٤$^{a}$ | ٢٤/١$^{a}$ | ٤٢/٥$^{a}$ | ٢٧/٤$^{a}$ | ١٢ $^{a}$ | ٥٤/٢ $^{b}$ | ١/٨$^{bc}$ | ١/١٩$^{bc}$ | ٤٤٤٢/٧$^{a}$ |
| گون- بروموس | لوم رسی | ٣١/٦$^{a}$ | ٣٩/٧$^{a}$ | ٣٠/٩$^{a}$ | ٣٦/٨$^{a}$ | ١/٣$^{a}$ | ١٩/٧$^{c}$ | ١٢/٣$^{a}$ | ١/٩٢$^{a}$ | ٦٧٥٨/٥$^{a}$ |
| گون- درمنه | لوم رسی | ٤٦/١$^{a}$ | ٢٢$^{a}$ | ٣١/٩$^{a}$ | ٣٢/٣$^{a}$ | ٢/٧ $^{a}$ | ١٣$^{c}$ | ٣$^{b}$ | ١/٧٥$^{ab}$ | ٤٧٥٥/٦$^{a}$ |

علائم مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ است. مقدار صفر برای لاشبرگ نشان از عدم وجود لاشبرگ در تیپ گندم دیم است.

تیپ‌های گون-بروموس و گون-درمنه دارای پوشش گیاهی و لاشبرگ بیشتری نسبت به دیگر تیپ-های گیاهی بودند و به‌همین دلیل مقدار کربن آلی خاک بیشتری نسبت به دیگر تیپ‌های گیاهی داشتند. از طرف دیگر این تیپ‌ها در منطقه چرای کنترل‌شده قرار داشتند که در آن چرای تأخیری انجام می‌شود. در بسیاری از چراگاه‌ها، تولید زیتوده در واکنش به چرای تناوبی با مدیریت شایسته افزایش یافته و مواد آلی وارد شده به

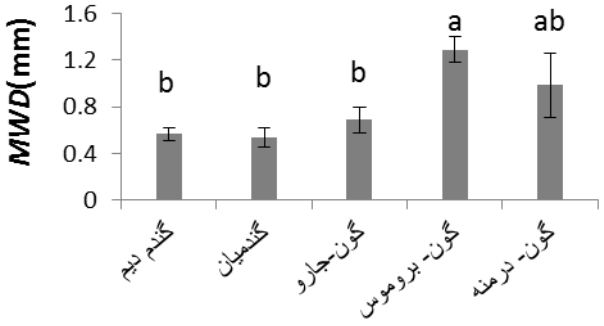
خاک چراگاه بیشتر می‌شود (کلین و همکاران ۲۰۰۷). به‌علاوه، با افزایش تنوع گونه‌ای مرتع، مقدار تولید علوفه و کربن آلی خاک افزایش می‌یابد (فرانزلوبرز ۲۰۱۰). در تیپ گندم دیم (جدول ۲) به علت عدم دریافت کود آلی، اعمال روش‌های کشت تک محصولی برای مدت طولانی و چرای بقایا بعد از برداشت محصول، ورود بقایای گیاهی به خاک کم است؛ از طرف دیگر، به‌علت عملیات خاک‌ورزی و شخم، خروج کربن آلی از خاک زیاد است، از این رو کربن آلی و کربوهیدرات در خاک این تیپ گیاهی نسبت به خاک تیپ‌های مرتعی کمتر است (کاردلی و همکاران ۲۰۱۲، اسپان و جیانی ۲۰۱۱، مارکوس و جوآن ۲۰۰۶).

اسپان و جیانی (۲۰۱۱) بیان کردند که مقدار *MWD* با تغییر مرتع به زراعت طی ۱۱۰ سال، ۶۹ درصد کاهش یافت (از ۳/۰۸ به ۰/۹۵ میلی‌متر، به‌ترتیب در مرتع و زمین کشاورزی). در مطالعه اِستاوی و همکاران (۲۰۱۱)، بیشترین مقدار *MWD* و خاکدانه‌های ۵-۱ میلی‌متر در فصل بهار، در شیب‌های شمالی دارای پوشش بوته‌ای، و در فصل پاییز، در مسیر حرکت دام و در شیب‌های جنوبی مشاهده شد؛ کمترین مقادیر این دو ویژگی در هر دو فصل، در مسیر حرکت دام و در شیب‌های شمالی مشاهده شد. این محققان نشان دادند که خاکدانه‌ها و *MWD* در اندازه ۵-۱ میلی‌متر نسبت به *MWD* کل، اندازه ۰/۲۵> تا ۸< میلی‌متر، حساسیت بیشتری به نوع پوشش سطحی و چرای دام دارند. این محققان نشان دادند که خاکدانه‌ها و *MWD* تعیین‌شده در محدوده‌ی اندازه‌ای ۵-۱ میلی‌متر نسبت به *MWD* کل (تعیین شده در محدوده اندازه‌ای ۰/۲۵> تا ۸< میلی‌متر) به نوع پوشش سطحی و چرای دام بیشتر حساس هستند. مطالعاتی که تأثیر شیب را بر پایداری خاکدانه‌ها بررسی کرده‌اند، کمترین پایداری خاکدانه و کمترین مقدار خاکدانه‌های درشت را در شیب‌های زیاد مشاهده کرده‌اند. در حالی که در پژوهش حاضر دو تیپ گون-درمنه و گون-بروموس با وجود داشتن شیب بیشتر، درصد خاکدانه‌های درشت بیشتری را نسبت به دیگر تیپ‌ها داشتند که این مشاهده اثر جبران‌کننده پوشش گیاهی و ماده آلی را در شیب‌های بیشتر نشان می‌دهد.

**جدول ۴- تجزیه واریانس میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (*MWD*).**

| منابع دگرگونی | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| تیمار | ٤ | ۱/۲۳۱۷ | ۰/۳۰۷۹ | ٤/٦٨ | ۰/۰۲۱۸ |
| خطا | ۱۰ | ۰/٦٥٨٤ | ۰/۰٦٥٨ | | |
| کل | ۱٤ | ۱/۸۹۰۲ | | | |

ضریب تغییرات=۳۱/٦، ضریب تعیین= ۰/٦٥

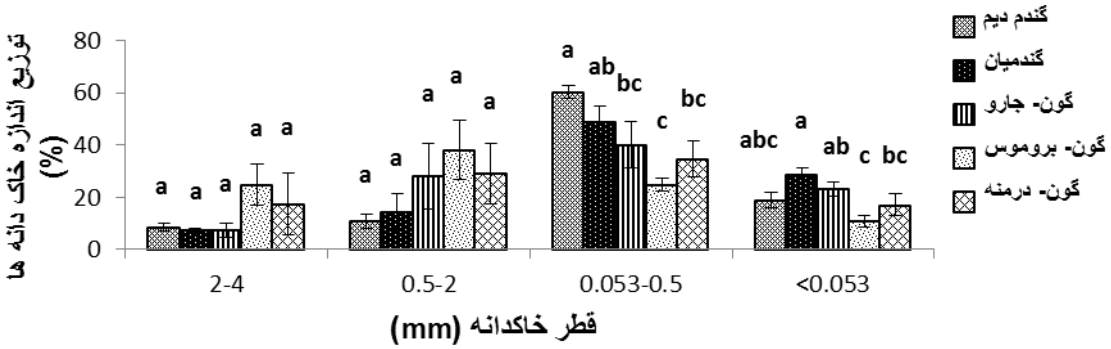



**شکل ۱- اثر تیپ‌های گیاهی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (*MWD*). نمودار بر اساس میانگین و خطای استاندارد رسم شده است.**

*MWD* وابسته به پوشش گیاهی (کریستنسن ۱۹۸٦) و چرخه خشک و مرطوب شدن خاک می‌باشد (سارا ۲۰۰٤). ریشه‌ها چرخه خشک و مرطوب‌شدن خاک مجاور را افزایش می‌دهند، چرا که با جذب عناصر غذایی تعادل اسمزی و یونی خاک مجاور را تغییر می‌دهند، این امر می‌تواند سبب افزایش یا کاهش پایداری خاکدانه شود، که احتمالاً وابسته به نوع رس است (آنجرز و کارن ۱۹۹۸). تغییر در گونه‌های جوامع گیاهی روی توزیع جامعه میکروبی و تولیدات میکروبی مؤثر در خاکدانه‌سازی تأثیر می‌گذارد (داکس و هانگیت ۲۰۰۲).

**توزیع اندازه خاکدانه‌ها**

در بین کلاس‌های اندازه خاکدانه‌ای، اندازه خاک‌دانه‌های ۰/۵–۰/۰۵۳ میلی‌متر بیشترین تغییرات معنی‌دار را در بین تیپ‌های گیاهی نشان داد (شکل ۲)، به‌طوری‌که تیپ‌های گیاهی گون–بروموس و گون–درمنه با درصد پوشش گیاهی بالا، کمترین مقدار این اندازه از خاکدانه‌ها را داشتند. اندازه خاکدانه‌های بزرگتر از ۲ و ۲–۰/۵ میلی‌متر در بین تیپ‌های گیاهی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ نداشتند. با این حال اندازه خاکدانه‌های بزرگتر از ۲ میلی‌متر در تیپ گون–بروموس و گون–درمنه بیشتر از دیگر تیپ‌ها اندازه‌گیری شد. از طرف دیگر درصد خاکدانه‌های ۰/۵–۰/۰۵۳ و ۰/۰۵۳> میلی‌متر در این تیپ‌ها کمتر از دیگر تیپ‌ها بود (شکل ۲). گیاهان با سیستم‌های ریشه‌ای مختلف بسته به ویژگی‌های ریشه، ترشحات و عملکرد ریشه اثر متفاوتی روی خاکدانه‌سازی دارند. تیپ‌های گون–درمنه و گون–بروموس دارای پوشش گون بالایی هستند. ریشه گیاهان لگوم به‌علت زیتوده میکروبی بالا، خاکدانه‌سازی و خاکدانه‌های پایدار در آب را نسبت به گیاهان غیر لگوم بیشتر افزایش می‌دهند (هریس و همکاران ۱۹٦٦). به علاوه فراوانی گندمیان در تیپ گون–بروموس بالا است، این گیاهان دارای ریشه‌های فیبری هستند که سطوح بالایی از خاکدانه‌های بزرگ را ایجاد می‌کنند (چان و هینان ۱۹۹۹). پایداری خاکدانه در غیر لگوم‌ها وابسته به حجم ریشه است (هاینس و بیِر ۱۹۹۷).

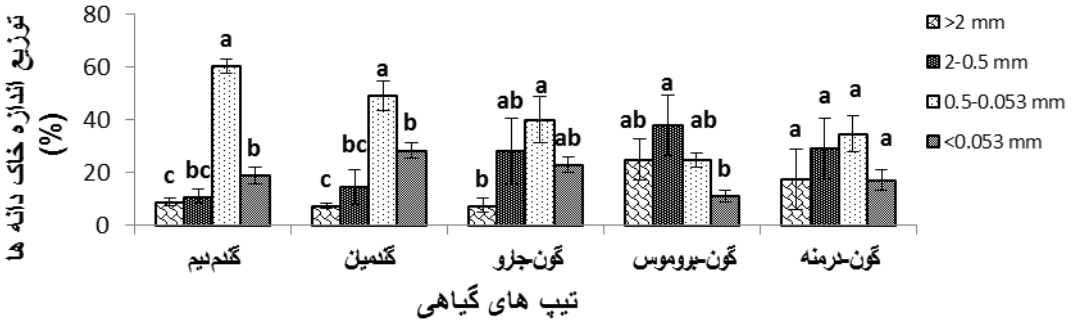



**شکل ۲- توزیع اندازه خاکدانه‌ها در تیپ‌های گیاهی منتخب. نمودار بر اساس میانگین و خطای استاندارد رسم شده است.**

در تیپ گون–بروموس درصد خاکدانه‌های ۲–۰/۵ میلی‌متر بیشتر از دیگر اندازه خاکدانه‌ها بود. با این حال در این تیپ، تفاوت معنی‌داری بین سه کلاس اول خاکدانه‌ای (بزرگتر از ۰/۰۵۳ میلی‌متر) مشاهده

نشد (شکل ۳). تیپ گون-بروموس دارای پوشش گیاهی خوب و همچنین ریشه‌های ریز می‌باشد که سبب افزایش ترشحات ریشه‌ای می‌شوند که عامل ایجاد خاک‌دانه‌های بزرگ هستند. در تیپ گون-درمنه درصد خاک‌دانه‌های پایدار در اندازه‌های مختلف تفاوت معنی-داری در سطح احتمال ۰/۰۵ با هم نداشتند (شکل ۳).

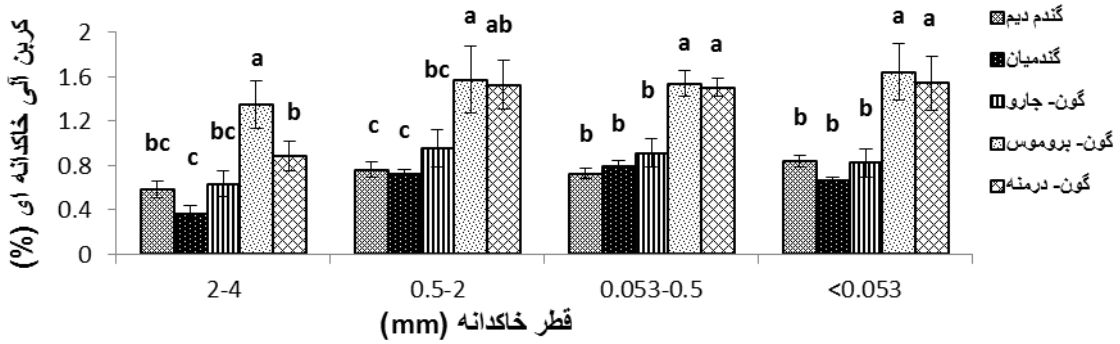
در تحقیق حاضر، درصد خاک‌دانه‌های بزرگتر از ۲ میلی‌متر در تیپ‌های مرتعی گون-بروموس و گون-درمنه به‌علت وجود پوشش گیاهی، مواد آلی و احتمالاً فعالیت میکروبی بالا بیشتر می‌باشد؛ این عوامل سبب تشکیل بیشتر خاک‌دانه‌های بزرگ می‌شوند. ریشه‌های گیاه و ریزوسفر روی خاک‌دانه‌سازی اثر می‌گذارند. ریشه‌ها ذرات خاک را به دام می‌اندازند و با ترشحات ریشه‌ای ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را تغییر می‌دهند، که روی خاک‌دانه‌سازی اثر می گذارند. خاک‌دانه‌سازی به‌طور معنی‌داری با افزایش طول ریشه، جامعه میکروبی و درصد تاج پوشش افزایش می‌یابد (ریلیگ و همکاران ۲۰۰۲).




**شکل ۳- توزیع خاک‌دانه پایدار در اندازه‌های مختلف برای پنج تیپ گیاهی. نمودار بر اساس میانگین و خطای استاندارد رسم شده است.**

**کربن آلی درون خاک‌دانه‌ها**

مقدار کربن آلی در دو کلاس اندازه خاک‌دانه‌ای ۰/۵-۰/۰۵۳ و ۰/۰۵۳> در تیپ‌های گون-بروموس و گون-درمنه تفاوت معنی‌داری نداشت و در این تیپ‌ها به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیگر تیپ‌ها بود. مقدار کربن آلی در کلاس اندازه خاک‌دانه‌ای ٤-۲ میلی‌متر در تیپ گون-بروموس به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیگر تیپ‌ها بود. مقدار کربن آلی در هر چهار کلاس اندازه خاک‌دانه‌ای در بین تیپ‌های گون-جارو، گندمیان و گندم دیم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ٤). تیپ‌های مرتعی گون-بروموس و گون-درمنه به‌علت پوشش گیاهی و لاشبرگ بالا و به‌دنبال آن کربن کل بالا، خاک‌دانه‌سازی بیشتری دارند. به‌علاوه به‌هم خوردگی کمتر خاک سطحی در این تیپ‌ها، پایداری خاک‌دانه‌ها و مقدار کربن خاک‌دانه‌ای را افزایش می‌دهد. تیپ گندم دیم به‌علت عملیات کشت و کار، خاک‌دانه‌ها پایداری کمی داشته، درنتیجه هدرروی کربن درون خاک‌دانه‌ها بیشتر می‌شود. از طرف دیگر در این زمین‌ها به علت پوشش گیاهی و ماده آلی کم، فرآیند خاک‌دانه‌سازی ضعیف است. تیپ گندمیان به‌علت پوشش گیاهی، لاشبرگ و مقدار رس کم، خاک‌دانه‌سازی کمی دارد و از طرف دیگر به‌علت شیب کم، تمرکز دام در فصل چرا در آن زیاد می‌باشد که سبب شکستن خاک‌دانه‌ها و از دست-رفتن کربن طی تجزیه میکروبی می‌شود.

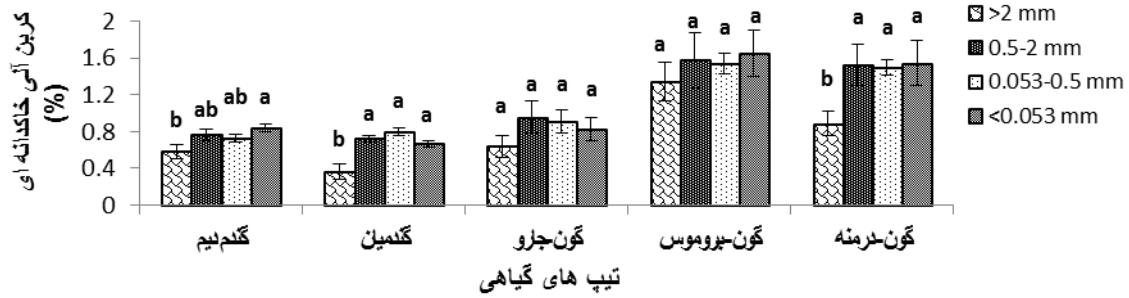



**شکل ۴- درصد کربن آلی در بین تیپ‌های گیاهی در خاکدانه‌های مختلف. نمودار بر اساس میانگین و خطای استاندارد رسم شده است.**

در تیپ گندم دیم، خاکدانه‌های ۰/۰۵۳> میلی‌متر کربن بیشتری نسبت به دیگر اندازه خاکدانه‌ها داشتند که تنها با کربن آلی خاکدانه‌های ۲≥ میلی‌متر تفاوت معنی‌دار داشت (شکل ۵). مقدار کربن آلی در خاکدانه‌های ۲≥ میلی‌متر در تیپ‌های گون-درمنه و گندمیان به‌طور معنی‌داری کمتر از دیگر اندازه خاک-دانه‌ها بود (شکل ۵)؛ این مشاهده ممکن است به‌علت مقدار شن بیشتر در این دو تیپ پوششی باشد.

پرامود و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند مقدار کربن قابل اکسید روش والکی-بلک در خاکدانه‌های کوچکتر از ۰/۲۵ میلی‌متر به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر اندازه خاکدانه‌ها است. مقدار بیشتر کربن آلی در بخش کوچکتر از ۰/۲۵ میلی‌متر می‌تواند پایداری مواد آلی در بخش سیلت و رس را باعث شود. به‌طورکلی کربن قابل اکسید با افزایش سطح ویژه خاک بیشتر می-باشد. جان و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که در کشت گندم و ذرت بخش مهم کربن آلی در خاکدانه‌های ۱-۰/۲۵ میلی‌متر و در مرتع و جنگل در خاکدانه بزرگتر از ۲ میلی‌متر قرار داشت. این محققان مقدار کربن آلی کمی را در همه خاکدانه‌های کوچکتر از ۰/۰۵۳ میلی‌متر مشاهده کردند و علت آن را وجود ذرات سیلت آزاد با ظرفیت پیوندی کم یا بدون ظرفیت پیوندی با کربن آلی مانند کوارتز بیان کردند.

به‌طورکلی در همه تیپ‌های گیاهی مقدار کربن آلی در خاکدانه‌های بزرگتر از ۲ میلی‌متر کمتر از خاکدانه‌های کوچکتر از این اندازه بود (شکل ۵). رایت و هونس (۲۰۰۵) گزارش کردند که بیشترین ذخیره کربن آلی در عمق ۵-۰ سانتی‌متر در خاکدانه‌های ۲-۰/۲۵ میلی‌متر و در عمق ۱۵-۵ سانتی‌متر در خاکدانه‌های بزرگتر از ۲ میلی‌متر و ۲-۰/۲۵ میلی‌متر مشاهده شد. به‌طور مشابه بنبی و سناپاتی (۲۰۱۰) گزارش کردند که خاکدانه‌های بزرگ بیشترین مقدار C و N را نسبت به خاکدانه‌های کوچک دارند.




**شکل ۵- درصد کربن آلی در اندازه خاکدانه مختلف برای پنج تیپ گیاهی. نمودار بر اساس میانگین و خطای استاندارد رسم شده است.**

**بررسی همبستگی بین شاخص‌های کیفیت خاک**

همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد بین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با کربن آلی کل (۰/٤٦٨) و کربن آلی هر چهار کلاس اندازه خاکدانه‌ای مشاهده شد (جدول ۵). اسپان و جیانی (۲۰۱۱) بیان کردند که *MWD* به‌طور معنی‌داری با کربن آلی کل (۰/۸٤) و کربوهیدرات (۰/۹٦) همبستگی دارد.

خاکدانه‌های پایدار در اندازه بزرگتر از ۲ میلی‌متر با کربوهیدرات و کربن آلی کل همبستگی مثبت نشان داد، در حالی که خاکدانه‌های در اندازه ۰/۵-۰/۰۵۳ و کوچکتر از ۰/۰۵۳ میلی‌متر همبستگی منفی با مقدار کربوهیدرات و کربن آلی کل داشتند (جدول ۵). اسپان و جیانی (۲۰۱۱) مشاهده کردند که در بیشتر نمونه‌ها غلظت کربن آلی و کربوهیدرات در خاکدانه‌های درشت بیشتر از خاکدانه‌های ریز بوده و وابسته به مدت کشت است. بین کربن آلی کل، کربوهیدرات و کربن آلی چهار کلاس اندازه خاکدانه‌ای همبستگی معنی‌دار و مثبت مشاهده شد. پایداری خاکدانه همبستگی بیشتری با کربوهیدرات عصاره‌گیری شده با آب گرم و اسید رقیق، و پس از آن با کربن آلی کل دارد. بنابراین کربوهیدرات شاخص مناسبی برای نشان دادن کیفیت خاک در ارتباط با پایداری خاکدانه می‌باشد؛ تغییر در خاکدانه‌سازی احتمالاً وابسته به ترکیبات پیوندی کربن پویا است (الگوسیل و همکاران ۲۰۰۵). در پژوهش حاضر، پایداری خاکدانه الگوی افزایشی با مقدار ماده آلی را دنبال کرد که این هماهنگ با یافته‌های یوسفی و همکاران (۲۰۰۸) و جیمز و همکاران (۲۰۱۲) بود. کربن آلی خاک به‌عنوان یک عامل پیوندی و یک هسته در تشکیل خاکدانه‌ها است.

**جدول ۵- همبستگی بین شاخص‌های پایداری خاکدانه و بخش های کربن آلی.**

| | | *MWD* | *AS* | | | | *AC* | | | | *TOC* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ۲-٤ mm | ۰/۵-۲ mm | ۰/۰۵۳-۰/۵ mm | <۰/۰۵۳ mm | ۲-٤ mm | ۰/۵-۲ mm | ۰/۰۵۳-۰/۵ mm | <۰/۰۵۳ mm | |
| | *MWD* | ۱ | | | | | | | | | |
| *AS* | ۲-٤mm | ۰/۵۲۸** | ۱ | | | | | | | | |
| | ۰/۵-۲mm | ۰/۳۰۹* | -۰/۱٦٦ | ۱ | | | | | | | |
| | ۰/۰۵۳-۰/۵mm | -۰/۵۳۳** | -۰/۳٦۸** | -۰/۸۱٦** | ۱ | | | | | | |
| | <۰/۰۵۳mm | -۰/۵۲۲** | -۰/۳٦۸** | -۰/٦٦٤** | ۰/٦۳٦** | ۱ | | | | | |
| *AC* | ۲-٤mm | ۰/٦٤۷** | ۰/۵۰۳** | ۰/۳۹۱** | -۰/٦۰٦** | -۰/۵۵۲** | ۱ | | | | |
| | ۰/۵-۲mm | ۰/٤۲۱** | ۰/۳۱٤* | ۰/۳۲۵* | -۰/٤۵۸** | -۰/٤۱۷** | ۰/۲۰۷ | ۱ | | | |
| | ۰/۰۵۳-۰/۵mm | ۰/٤۳٤** | ۰/۵٤۲** | ۰/۲۸۱* | -۰/۵۰۵** | -۰/۵۵۰** | ۰/۱٤۹ | ۰/۷۲۱** | ۱ | | |
| | <۰/۰۵۳mm | ۰/٤۲۱** | ۰/٤۱۲** | ۰/٤۵۸** | -۰/۵۷۸** | -۰/٦۳۲** | ۰/۱۷۸ | ۰/۵٦٤** | ۰/۸۳۷** | ۱ | |
| | کربن آلی | ۰/٤٦۸** | ۰/٤۸۱** | ۰/۳۷۰** | -۰/۵۹۱** | -۰/۵۲۹** | ۰/٤۸۲** | ۰/٦۸۳** | ۰/۵۹۸** | ۰/۵٤۸** | ۱ |
| | کربوهیدرات | ۰/۲۵۱ | ۰/۵٤۲** | ۰/۱۵۰ | -۰/٤۵۸** | -۰/۳۲۰* | ۰/۳۸۲** | ۰/۳۹۳** | ۰/٤۹۵** | ۰/۳٦۵** | ۰/٦۷۸** |

*MWD*: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، *AS*: درصد پایداری خاکدانه، *AC*: کربن درون خاکدانه‌ها، *TOC*: کربن آلی کل.

**همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ *همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

**نتیجه‌گیری کلی**

فرآیند خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه‌ها در خاک سطحی تیپ گون-بروموس، به‌دلیل پوشش گیاهی بیشتر و وجود گونه‌های گندمیان چندساله با ریشه‌های افشان و فیبری زیاد، بیشتر از تیپ‌های گیاهی گون-جارو، گندمیان و گندم دیم است. تیپ گندم دیم به‌علت

عملیات خاک‌ورزی و ماده آلی کم، و تیپ‌های گندمیان و گون-جارو به‌دلیل تمرکز زیاد دام، و ماده آلی و پوشش گیاهی کم، خاکدانه‌های پایدار کمی دارند.

در همه بخش‌های اندازه‌ای خاکدانه‌ها، بیشترین مقدار کربن در تیپ‌های گون-بروموس و گون-درمنه و کمترین در تیپ‌های گندم دیم و گندمیان مشاهده شد، که توانایی بیشتر تیپ‌های گون-بروموس و گون-درمنه در ترسیب کربن را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج، شاخص کربوهیدرات کل نسبت به کربن آلی کل و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها حساسیت بیشتری به نوع پوشش گیاهی داشت. به‌علاوه، در بین کلاس‌های اندازه خاکدانه‌ای، اندازه خاکدانه‌های ۰/۵-۰/۰۵۳ میلی‌متر بیشترین تغییرات را در بین تیپ‌های گیاهی داشت.

کاربری زمین، عملیات مدیریتی خاک و پوشش گیاهی از عوامل تأثیرگذار بر پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک هستند. ساختمان خاک بر حرکت و نگهداری آب در خاک، فرسایش، سله، باز چرخش مواد، نفوذ ریشه و تولید توده زنده تاثیر می‌گذارد. پیامدهای بیرونی همچون آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و انتشار $CO_2$ به وسیله ساختمان تحت تأثیر قرار می‌گیرند. مقدار زیاد خاکدانه‌های پایدار و کربن آلی همراه خاکدانه‌ها در تیپ‌های گیاهی مرتعی به‌ویژه در تیپ‌های گیاهی گون-بروموس و گون-درمنه که در منطقه چرای کنترل شده، در شیب‌های بالا مستقر بودند و پوشش گیاهی زیادی داشتند، نقش مهم مدیریت اراضی و پوشش گیاهی بر پایداری خاک و اکوسیستم را نشان می‌دهند. به‌طورکلی تخریب پوشش گیاهی حتی در اراضی با شیب کم باعث کاهش خاکدانه‌های درشت می‌گردد که این امر خاک را مستعد فرسایش و تخریب می‌نماید. در مجموع نتایج این تحقیق تأکید دارد که بهبود پوشش گیاهی مرتعی و چندساله باعث بهبود خاکدانه‌سازی، کاهش هدر رفت کربن به صورت $CO_2$ و کاهش فرسایش خاک در شرایط بارندگی و توپوگرافی شدید منطقه می‌شود.

**منابع مورد استفاده**


اطمینان س، کیانی ف، خرمالی ف و حبشی ه، ۱۳۹۰. نقش خصوصیات خاک با مواد مادری متفاوت بر پایداری خاکدانه در حوضه شصت کلاته استان گلستان. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد ۱، شماره ۲، صفحه‌های ۳۹ تا ۵۹.

بهرامی ا، ۱۳۹۱. مدل‌سازی پویایی کربن آلی خاک با استفاده از مدل APEX در حوضه زوجی گنبد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا.

بی‌نام، ۱۳۸۷. آمار و اطلاعات. هواشناسی ایستگاه همدان. سایت www.hamedanmet.ir.

حاجیلو ی، ۱۳۸۹. پیامد مدیریت چرای دام جهت شیب بر برخی از ویژگی‌های بیولوژیک و ریخت‌های گوناگون کربن آلی خاک در حوضه‌های دوگانه آبخیز گنبد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا.

خزایی ع، ۱۳۸٦. ارزیابی برخی روش‌های اندازه‌گیری پایداری ساختمان خاک و اصلاح آن‌ها برای خاک‌های همدان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا.

Angers DA and Caron J, 1998. Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. Biochemistry 42 (1–2): 55–72.

Alguacil MM, Caravaca F and Rolda´n A, 2005. Changes in rhizosphere microbial activity mediated by native or allochthonous AM fungi in the reafforestation of a Mediterranean degraded environment. Biology and Fertility of Soils 41: 59–68.

Beare MH, Cabrera ML, Hendrix PF and Coleman DC, 1994. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. Soil Science Society of America Journal 58: 787– 795.

Benbi DK and Senapati N, 2010. Soil aggregation and carbon and nitrogen stabilization in relation to residue and manure application in rice–wheat systems in northwest India. Nutrient Cycling in Agroecosystems 87: 233–247.

Bird SB, Herrick JE, Wander MM and Wright SF, 2002. Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland. Environmental Pollution 116 (3): 445–455.

Bronick CJ and Lal R, 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma 124: 3 –22.

Cambardella CA and Elliott ET, 1994. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. Soil Science Society of America Journal 51:176-182.

Cardelli R, Marchini F and Saviozzi A, 2012. Soil organic matter characteristics, biochemical activity and antioxidant capacity in Mediterranean land use systems. Soil & Tillage Research 120: 8-14.

Chan KY and Heenan DP, 1999. Microbial-induced soil aggregate stability under different crop rotations. Biology and Fertility of Soils 30: 29–32.

Christensen BT, 1986. Straw incorporation and soil organic matter in macroaggregates and particle size separates. Canadian Journal Soil Science 37: 125-135.

David AW, Amy WB, Craig R and Egbert, 2009. Vegetation controls on soil organic carbon dynamics in an arid, hyperthermic ecosystem. Geoderma 150: 214–223.

Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA and Smith F, 1956. Colorimetric method of determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry 28: 350–356.

Dukes JS and Hungate BA, 2002. Elevated carbon dioxide and litter decomposition in California annual grasslands: which mechanisms matter? Ecosystem 5: 171– 183.

Franzluebbers AJ, 2010. Soil organic carbon in managed pastures of the southeastern United States of America. Pp. 163-175. In: Abberton M, Conant R and Batello C, (eds). Grassland Carbon Sequestration: Management, Policy and Economics. Integrated Crop Manage, vol. 11. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.

Harris RF, Chesters G and Allen ON, 1966. Dynamics of soil aggregation. Advances in Agronomy 18: 108–169.

Haynes RJ and Beare MH, 1997. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. Soil Biology & Biochemistry 29: 1647–1653.

Islam KR and Weil RR, 2000. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. Agriculture, Ecosystems & Environment 79: 9-16.

Jiménez P, Marando G, Josa R, Julià M, Ginovart M and Bonmatí M, 2012. Biochemical Characterization of Minimally Disturbed Soils under Mediterranean Conditions. Pp. 77-89. In: Trasar-Cepeda C, Hernández T, García C, Rad C and González-Carcedo S, (eds). Soil Enzymology in the Recycling of Organic Wastes and Environmental Restoration, Part I: Enzymes as Indicators of Environmental Soil Quality, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

John B, Yamashita T, Ludwigb B and Flessa H, 2005. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. Geoderma 128: 63–79.

Kay BD, 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. Advances in Soil Science 12:1-52.

Klein J, Harte J and Zhao XQ, 2007. Experimental warming, not grazing, decreases rangeland quality on the Tibetan Plateau. Ecological Applications 17: 541-557.

Kraaij S and Milton J, 2006. Vegetation changes (1995-2004) in semi-arid Karoo shrubland, South Africa. Journal of Arid Environments 64: 174-192.

Lützow M, Kögel-Knabner I, Ekschmitt K, Matzner E, Guggenberger G, Marschner B and Flessa H, 2006. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions. European Journal of Soil Science 57: 426-445.

Marcos DB and Juan CL, 2006. Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro- and microaggregates as affected by cultivation. Geoderma 136: 660–665.

Pramod J, Nikita G, Brij LL, Biswas AK and Subba AR, 2012. Soil and residue carbon mineralization as affected by soil aggregate size. Soil & Tillage Research 121: 57–62.

Puget P, Chenu C and Balesdent J, 2000. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. European Journal of Soil Science 51: 595– 605.

Rillig MC, Wright SF and Eviner VT, 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil

aggregation: comparing effects of five plant species. Plant and Soil 238: 325–333.
Sarah P, 2004. Nonlinearity of ecogeomorphic processes along Mediterranean-arid transects. Geomorphology 60: 303e317.
Shannon CE and Weaver W, 1963. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana. 117 p.
Simpson EH, 1949. Measurement of diversity. Nature 163: 688.
Six J, Paustian K, Elliott ET and Combrink C, 2000. Soil structure and organic matter: I. distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. Soil Science Society of America Journal 64: 681–689.
Smettem KRJ, Rovirag AD, Wace SA, Wilson BR and Simon A, 1992. Effect of tillage and crop rotation on the surface stability and chemical properties of a red brown earth (Alfisol) under wheat. Soil & Tillage Research 22: 27-40.
Spohn M and Giani L, 2011. Total, hot water extractable, and oxidation-resistant carbon in sandy hydromorphic soils-Analysis of a 220-year chronosequence. Plant and Soil 338: 183-192.
Stavi I, Ungar ED, Lavee H and Sarah P, 2011. Soil aggregate fraction 1-5 mm: An indicator for soil quality in rangelands. Journal of Arid Environments 75: 1050-1055.
Walkley A and Black IA, 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. Experimental Soil Science 79: 459-465.
Wright AL and Hons FM, 2005. Carbon and nitrogen sequestration and soil aggregation under sorghum cropping sequences. Biology and Fertility of Soils 41: 95–100.
Yousefi M, Hajabbasi M and Shariatmadari H, 2008. Cropping system effects on carbohydrate content and water-stable aggregates in a calcareous soil of central Iran. Soil & Tillage Research 101: 57–61.