

Investigating the Effect of Vegetation Restoration on Morphometric Components of Nebaka and Its Role in the Stabilization of Sand Dunes in Nimroz Area of Sistan Province

Moien Jahantigh¹, Mansour Jahantigh^{2*}

1- P.h.D candidate of Watershed management science and engineering
moienja23@yahoo.com

2- Associate Professor, Department of Soil Conservation and Water Management, Sistan Agriculture and Natural Resources Research Center, Zabol, Iran
(*Corresponding Author Email: Mjahantigh2000@yahoo.com)

Extended Abstract:

1- Introduction

Existing challenges in arid regions have caused climatic and environmental problems such as low rain, winds with high speed and intensity as well as lack of vegetation. These problems happen by destroying and transporting particles leading to the influx of sand flowing into agricultural lands and residential centers. This is one of the most concerns of residents in the arid and desert region of the country. Because, it causes a lot of life and financial losses, the move of sands, and the formation of sand dunes are influenced by interactions between wind flow, the site of deposition, and the morphology of the sedimentation site that gives rise to wind landforms. The vegetation cover plays an important role in determining the morphology and dynamics by influencing transportation conditions and trapping the sand carried by the winds. This process takes the form of creating a wind vision during a natural reaction, with the creation of the Nebaka phenomenon. The phenomenon appears in desert areas to neutralize wind erosion stress. Accordingly, the presence of vegetation is a prerequisite for Nebakas and controlling the flow of sand flows in arid and desert areas due to the specific climatic conditions in these areas. Numerous studies have been conducted to investigate the effect of vegetation factors on Nebaka formation. The volume of Nebakas is influenced by the vegetative form. The volume of its constituents is different from each other. Vegetation factors have played an important role in the development of Nebakas. Studies have shown that the vegetation cover has the main role in the formation and development of Nebakas so that vegetation reduces sediment replacement and limits its source. Among the critical areas that are referred to as the main focus of wind erosion, the Sistan region has always been affected by wind erosion. The present study was conducted with the aim of investigating the effect of vegetation restoration on morphometric components of Nebaka and its effect on sand dunes stabilization in the Nimroz area of Sistan province.

2- Methodology

To achieve the purpose of the present study, after floodwater spreading and forestry operations in the Nimroz area of Sistan during 2003, parameters of Nebaka including Nebaka high, Nebaka base diameter, Nebaka volume, vegetation cover, plant height, wind direction, and back to the wind in 45 Nebakas to the Tamarix species were measured at different time intervals in a 16-year period by restoration vegetation and installing 5 linear transects with a length of 50 m randomly in the area. Then, by measuring the morphometric properties of Nebakas, the correlation of morphometric components was investigated using correlation analysis and multivariate regression analysis.

3- Results and Discussions

In the correlation analysis regarding the morphometric characteristics of Nebaka, the findings showed that a significant correlation (at the level of 0.99) of the plant characteristics such as vegetation cover and high plant parameters such as Nebaka high, Nebaka base diameter, Nebaka

volume, wind direction, and back to the wind. The multiple regression analysis approved 92.9 percentage of the volume changes of the Nebaka with the vegetation cover. Investigating the amount of sediment stabilized in the Nebaka also showed that increasing vegetation will increase the volume of Nebaka in such a way that with increasing vegetation, the volume of Nebakas on average increased from 0.53m^3 in 2008 to 15.69m^3 in 2018 with the amount of stabilized sediments increased from 184.97 ton to 879.79 ton. The statistical comparison of the measured data showed that there is a significant difference (at the level of 0.01) between the mean stabilized sediments in Nebakas during the research process. According to the results of the study, the restoration of vegetation in the study area shows a good background for the formation of Nebakas. As a result, a considerable amount of sands has stabilized in these Nebakas.

4– Conclusions

In this study, the role of wind activity in the formation and development of Nebaka areas where wind power was low was confirmed. Based on the result of this research, a significant amount of wind sediments has been stabilized in Nebakas. As a result, the Sistan area is always affected by wind erosion and the problem of sand dunes. The method of restoring vegetation by doing flood and forestry plans in susceptible areas is effective to stabilize the sand with the creation of the Nebaka phenomenon in the study area. Re-vegetation in the study area has provided a good basis for the creation of Nebakas in the region.

Keywords: Canopy Cover, Desertification, Forestry, Sediment, Stabilization.

References

- Ahmed, M., Al-Dousari, N., Al-Dousari, A. (2015). The Role of Dominant Perennial Native Plant Species in Controlling the Mobile Sand Encroachment and Fallen Dust Problem in Kuwait. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(2), 134.
- Al-Awadhi, J. M. (2014). The Effect of a Single Shrub on Wind Speed and Nabkhas Dune Development: A Case Study in Kuwait. *International Journal of Geosciences*, 5(1), 20.
- Corrigan, B. M., Van Wyk, B. E., Geldenhuys, C. J., & Durand, J. F. (2008). Vegetation Cover Changes of the Sand Forest in the KwaNobela Peninsula, St Lucia from 1937–2002. *South African Journal of Botany*, 2(74), 364.
- Dougill, A. J., & Thomas, A. D. (2002). Nebkha Dunes in the Molopo Basin, South Africa and Botswana: Formation Controls and Their Validity as Indicators of Soil Degradation. *Journal of Arid Environments*, 50(3), 413-428.
- Du, J., Yan, P., & Dong, Y. (2010). The Progress and Prospects of Nebkhas in Arid Areas. *Journal of Geographical Sciences*, 20(5), 712-728.
- Haney, A., Bowles, M., Apfelbaum, S., Lain, E., & Post, T. (2008). Gradient Analysis of an Eastern Sand Savanna's Woody Vegetation, and Its Long-Term Responses to Restored Fire Processes. *Journal of Forest Ecology and Management*, 256(8), 1560-1571.
- Jun, R., Lin, T., (2003). A Numerical Taxonomy of the Genus *Nitraria* from Gansu Province, China. *Journal of Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 23(4), 572–576.
- Karavas, N., Georghiou, K., Arianoutsou, M., & Dimopoulos, D. (2005). Vegetation and Sand Characteristics Influencing Nesting Activity of *Caretta caretta* on Sekania Beach. *Journal of Biological Conservation*, 121(2), 177-188.
- Lancaster, N., & Baas, A. (1998). Influence of Vegetation Cover on Sand Transport by Wind: Field Studies at Owens Lake, California. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Group*, 23(1), 69-82.
- Lang, L., Wang, X., Hasi, E., & Hua, T. (2013). Nebkha (Coppice Dune) Formation and Significance to Environmental Change Reconstructions in Arid and Semiarid Areas. *Journal of Geographical Sciences*, 23(2), 344-358.



جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۱، پیاپی ۷۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صص ۱۲۰-۱۰۵

نوع مقاله: پژوهشی

وصول: ۱۳۹۸/۸/۱۸ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۳۰

تأثیر احیای پوشش گیاهی بر مؤلفه‌های مورفومتری نبکا و نقش آن در تثبیت شن‌های روان منطقه نیمروز سیستان

معین جهان‌تیغ، دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان

moienja23@yahoo.com

منصور جهان‌تیغ^{*}، دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و

ترویج کشاورزی

mjhantigh2000@yahoo.com

چکیده

پوشش گیاهی نقش بسزایی در تعیین دینامیک و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در محیط‌های بیابانی دارد. وجود پوشش گیاهی در سطح زمین با حفاظت از سطح خاک و تأثیر بر شرایط حمل‌ونقل رسوبات حمل‌شده با باد موجب ایجاد چشم‌انداز بادی طی واکنشی طبیعی با ایجاد پدیده نبکا در مناطق بیابانی می‌شود؛ این فرایند برای خنثی کردن تنش فرسایش بادی در این مناطق به وقوع می‌پیوندد. هدف از اجرای پژوهش حاضر، بررسی تأثیر احیای پوشش گیاهی بر مؤلفه‌های مورفومتری نبکا و نقش آن در تثبیت شن‌های روان سیستان است. به این منظور پس از اجرای طرح پخش سیلاب و جنگل‌کاری در منطقه نیمروز سیستان طی سال ۱۳۸۲، با احیای پوشش گیاهی در عرصه، براساس روش تک‌بعدی و با استقرار ۵ ترانسکت خطی به طول ۵۰ متر به‌طور تصادفی، پارامترهایی همچون ارتفاع، قطر قاعده، حجم نبکا، قطر تاج پوشش، ارتفاع گیاه، دامنه رو به باد و دامنه پشت به باد در ۴۵ نبکا مربوط به گونه گز (*Tamarix*) در بازه‌های زمانی مختلف طی دوره‌ای ۱۶ ساله اندازه‌گیری شد. با اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفومتری نبکاها، همبستگی مؤلفه‌های مورفومتری براساس آنالیز همبستگی و تحلیل رگرسیون چندمتغیره بررسی شد. در بررسی همبستگی معیارها، یافته‌ها نشان داد عوامل پوشش گیاهی با مؤلفه‌های مورفومتری نبکاها همبستگی معناداری دارد. نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون چندگانه نیز مبین توجه ۹۲/۹ درصدی تغییرات حجم نبکاها با مؤلفه مساحت تاج پوشش گیاهی است. در بررسی رسوبات تثبیت‌شده در نبکاها نیز یافته‌ها حاکی است با رشد پوشش گیاهی، حجم نبکاها به‌طور میانگین از ۰/۵۳ به ۱۵/۶۹ مترمکعب افزایش یافته که پیرو آن، میزان رسوب نیز از ۱۸۴/۹۷ به ۸۷۹/۷۹ تن افزایش یافته است. مقایسه آماری داده‌های اندازه‌گیری‌شده نشان داد اختلاف معناداری بین میانگین مقدار رسوب تثبیت‌شده (در سطح یک درصد) در نبکاها وجود دارد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، احیای پوشش گیاهی با پخش سیلاب و جنگل‌کاری در مکان‌های مناسب، راهکار کارآمدی برای تثبیت شن‌های روان در منطقه پژوهش است.

واژه‌های کلیدی: بیابان‌زایی، تثبیت، تاج پوشش، جنگل‌کاری، رسوب

*نویسنده مسؤول

Copyright©2020, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they can't change it in any way or use it commercially.

Doi: [10.22108/gep.2020.119973.1225](https://doi.org/10.22108/gep.2020.119973.1225)

مقدمه

پوشش گیاهی نقش مهمی در تعیین دینامیک و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در محیط‌های بیابانی با تأثیر بر حمل و ترسیب ماسه‌هایی دارد که با باد حمل می‌شوند (Lancaster & Baas, 1998: 69). در شرایط کنونی حدود ۳۰ میلیون هکتار از اراضی کشور متأثر از فرسایش بادی است؛ این در حالی است که فقر پوشش گیاهی و سطح وسیع دشت‌ها همراه با حساسیت آنها به فرسایش موجب شکل‌زایی باد در این مناطق می‌شود (نگارش و لطیفی، ۱۳۸۸: ۴۳). وقوع این فرایند با تخریب و حمل و نقل ذرات به بروز پیامدهایی از جمله هجوم ماسه‌های روان به اراضی کشاورزی و مراکز سکونتگاهی و همچنین راه‌های ارتباطی می‌انجامد که ضمن نابودی آنها، گسترش مناطق بیابانی و مهاجرت ساکنان این مناطق را در پی دارد (محمودی و همکاران، ۱۳۹۲: ۶۷). از این رو پوشش گیاهی از جمله عوامل مؤثر بر حفاظت از سطح زمین به شمار می‌رود که تخریب آن نقش بسزایی در ازهم‌گسیختگی ذرات خاک و حرکت مواد با باد دارد. نوع و تراکم پوشش گیاهی باعث دینامیک رسوبات در سیستم می‌شود؛ به گونه‌ای که با ایجاد ناهمواری در سطح زمین ضمن کاهش سرعت باد از انتقال رسوب نیز می‌کاهد و منبع آن را محدود می‌کند؛ بر این اساس وجود پوشش گیاهی در سطح زمین با تأثیر گذاشتن بر شرایط حمل و نقل باعث ترسیب مواد حمل‌شده با باد می‌شود (Corrigan et al., 2008: 364; Karavas et al., 2005: 179). این فرایند در قالب ایجاد چشم‌انداز بادی طی واکنشی طبیعی با ایجاد پدیدهٔ نبکا در مناطق بیابانی نمایان می‌شود که برای خنثی کردن تنش فرسایش بادی در مناطق بیابانی به وقوع می‌پیوندد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱).

پیشینه پژوهش

پژوهش‌های متعددی در زمینه بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر تشکیل نبکا و نقش آن در تثبیت شن‌های روان انجام شده است؛ از جمله:

زیزونگ و همکاران^۱ (۲۰۱۰) در پژوهشی تأثیر پوشش گیاهی را بر نبکاهای حوضهٔ آبخیز رودخانهٔ هوتان^۲ در کشور چین بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها با بررسی ویژگی‌های بوم‌شناختی و اندازه‌گیری مؤلفه‌های مورفومتری نبکاها، بیان‌کنندهٔ آن بود که حجم نبکاها متأثر از فرم رویشی و حجم گونهٔ گیاهی تشکیل‌دهندهٔ آنها متفاوت بوده و ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه نقش بسزایی در توسعهٔ این نبکاها داشته است.

در پژوهشی دیگر، الاوادی^۳ (۲۰۱۴) تأثیر ویژگی‌های پوشش گیاهی را بر مورفولوژی نبکاهای ساحلی شمال شرق کویت با اندازه‌گیری مؤلفه‌های مورفومتری نبکا بررسی کرد و به این نتیجه رسید که ارتفاع نبکا با ارتفاع گیاه و طول نبکا با پارامترهای ارتفاع و مساحت تاج پوشش گیاه همبستگی معناداری دارد.

لو و همکاران^۴ (۲۰۱۶) در پژوهشی مبنی بر بررسی ارتباط ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه و اثر آن بر مراحل رشد نبکا در بخش‌های بیابانی چین با بررسی گونه‌های گیاهی و اندازه‌گیری ویژگی‌های پوشش گیاهی و اثر آن بر

1. Zhizhong et al.

2. Hotan River

3. Al-Awadhi

4. Luo et al.

مؤلفه‌های مورفومتری نبکاها، دریافتند تراکم گونه‌های گیاهی در مراحل رشد نبکاها معنادار است و با توسعه نبکاها، غنای گیاهی و تراکم آنها افزایش یافته است.

ال- دوساری و همکاران^۱ (۲۰۱۸) تأثیر پوشش گیاهی را بر تشکیل نبکا و تثبیت شن‌های روان در کشور کویت بررسی کردند.

در پژوهش‌های انجام‌شده در داخل کشور نیز پورخسروانی و همکاران (۱۳۸۸) ارتباط مورفولوژی گیاهی را با مورفومتری نبکاها گونه روماریا تورسستانیکا مدنظر قرار دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد میان ارتفاع گیاه و قطر تاج پوشش با ارتفاع نبکا در سطح احتمال کمتر از ۱ درصد و با ضریب تبیین به ترتیب ۵۸ و ۵۴ درصد، ارتباط معناداری برقرار است و براساس تحلیل رگرسیون چندگانه، ۷۴ درصد تغییرات ارتفاع نبکا با دو مؤلفه عمودی و افقی پوشش گیاهی توجیه‌پذیر بوده است.

نتایج پژوهش نگهبان و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی اثر پوشش گیاهی بر مورفولوژی نبکاها حاشیه غربی دشت لوت با اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفومتری نبکاها و ویژگی‌های پوشش گیاهی و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد همبستگی عناصر مورفومتری نبکاها مربوط به هر گونه گیاهی در پلات‌های اندازه‌گیری شده متفاوت است. آنها دلیل این امر را اثر متفاوت عوامل تأثیرگذار بر نبکاها از جمله اندازه پوشش گیاهی و فرایندهای بادی بر قسمت‌های مختلف منطقه پژوهش گزارش کرده‌اند.

ترنج‌زر و فتحی (۱۳۹۴) در بررسی ویژگی‌های مورفومتری نبکاها تیپ گیاهی قره‌داغ کویر میقان با اندازه‌گیری مؤلفه‌های مورفومتری در ۲۶ نبکا و تجزیه و تحلیل آماری آنها به این نتیجه رسیدند که همبستگی معناداری بین حجم نبکا با عوامل پوشش گیاهی مانند قطر تاج پوشش و مساحت پوشش گیاهی ($r^2 = 0/68$) وجود دارد و با تشکیل این نبکاها در منطقه، حجم زیادی از خاک این محدوده تثبیت شده است.

افزون بر این، عرب‌عامری و حلبیان (۱۳۹۶)، یوسفی و همکاران (۱۳۹۸) و نگهبان و روشن^۲ (۲۰۲۰) نیز با بررسی مورفولوژی گیاهی و ارتباط آن با مؤلفه‌های مورفومتری نبکا، تأثیر پوشش گیاهی را بر تشکیل نبکا و تثبیت تپه‌های ماسه‌ای ارزیابی کردند.

بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد پوشش گیاهی نقش بسزایی در تشکیل و توسعه نبکاها دارد؛ به‌طوری که از انتقال رسوب می‌کاهد و منبع آن را محدود می‌کند. این مهم با توجه به گسترش مناطق بیابانی و فقر پوشش گیاهی در مناطق خشک، نیازمند ارائه راهکارهایی مناسب برای احیای پوشش گیاهی و پیرو آن، کنترل حرکت شن‌های روان در این مناطق است که در پژوهش‌های انجام‌شده کمتر مدنظر قرار گرفته است.

از جمله مناطق بحرانی کشور، منطقه سیستان است که همواره در معرض فرسایش بادی و هجوم شن‌های روان قرار دارد. پیامد این فرایند، تسریع سیر قهقراپی و بروز مشکلات زیست‌محیطی است که حیات ساکنان این منطقه را تهدید می‌کند؛ بنابراین ارائه راهکارهایی مناسب با توجه به اصل همزیستی برای فائق‌آمدن بر مشکلات ناشی از هجوم شن‌های روان و تثبیت آنها در این منطقه، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است و بستری مناسب را برای کنترل کانون‌های فرسایشی در این منطقه فراهم می‌کند؛ بر این اساس و نبود پژوهش‌های پیشین در منطقه مدنظر، هدف از

1. Al-Dousari et al.

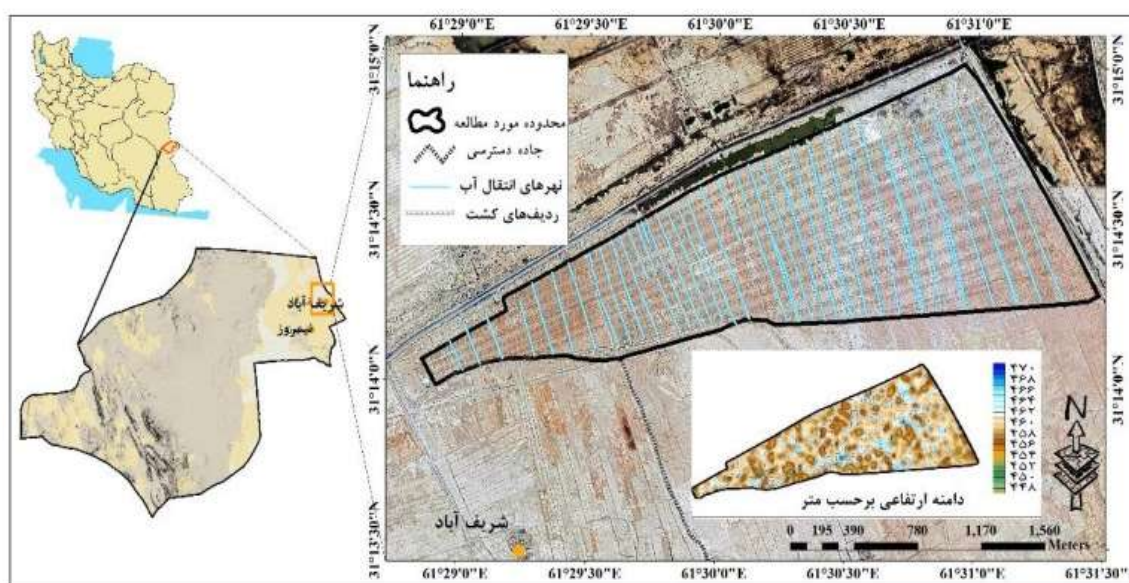
2. Negahban and Roshan

انجام پژوهش حاضر، بررسی تأثیر احیای پوشش گیاهی بر مؤلفه‌های مورفومتری نبکا و نقش آن در تثبیت شن‌های روان در منطقه نیمروز سیستان است.

روش‌شناسی پژوهش

معرفی منطقه پژوهش

محدوده پژوهش در شرق کشور و شمال استان سیستان و بلوچستان قرار دارد و از توابع شهرستان نیمروز با مختصات ۶۱ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۴ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی است. این منطقه در ارتفاع متوسط ۴۸۰ متری از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). متوسط بارندگی محدوده، ۴۷ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت، متوسط حداکثر و حداقل مطلق سالیانه به ترتیب ۱۸، ۲۵ و ۴۳ درجه سانتی‌گراد است (جهان‌تیغ و جهان‌تیغ، ۱۳۹۶: ۱۲). این محدوده تبخیر زیاد و رطوبت کمی دارد؛ به‌طوری‌که متوسط رطوبت سالیانه آن، ۲۸ درصد و تبخیر آن، حدود ۵ متر در سال است. سیستان بیشترین روزهای همراه با گرد و غبار را در جهان دارد؛ به‌طوری‌که هر ساله به‌طور متوسط ۱۶۰/۷ روز از سال وزش باد به همراه طوفان و گرد و غبار در آن وجود دارد که به متلاشی شدن زیست‌بوم آن انجامیده است (جهان‌تیغ و جهان‌تیغ، ۱۳۹۸: ۵۹). پوشش گیاهی این محدوده را عمدتاً گیاهان شورپسند و مقاوم به خشکی مانند گز^۱، خارشتر^۲، سالسولا^۳، سئودا^۴ و بونو^۵ تشکیل می‌دهد. خاک منطقه بافت متوسط دارد که به شوری متمایل و از لحاظ مواد غذایی عمدتاً فقیر است.



شکل ۱. منطقه پژوهش در شهرستان، استان و کشور

1. Tamarix
2. Alhagi mannifera
3. Salsola rigida
4. Suaeda fruticosa
5. Aeluropus lagopoides

داده‌های گردآوری شده

در این پژوهش گردآوری اطلاعات به صورت کتابخانه‌ای و میدانی انجام شده است. از روش کتابخانه‌ای برای گردآوری اطلاعات مربوط به مبانی نظری و شاخص‌های پژوهشی و از روش‌های میدانی برای گردآوری داده‌ها با بهره‌گیری از اندازه‌گیری‌های میدانی طی دوره‌ای ۱۶ ساله و در سه بازه زمانی مختلف (۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷) استفاده شده است. پارامترهای مطالعه‌شده در دو بخش مربوط به ویژگی‌های مورفومتری نبکا و ویژگی‌های پوشش گیاهی در ۱۳۵ نبکای مشاهداتی از نوع گونه گیاهی گز (*Tamarix*) بررسی شده است (جدول ۱)؛ همچنین برای بررسی ویژگی‌های مورفومتری نبکاها از متر و دستگاه GPS و برای تعیین بافت خاک از چگال‌سنج نوع ASTM-۱۵۲H استفاده شده است.

جدول ۱. مؤلفه‌های استفاده‌شده در این پژوهش

مؤلفه‌های مطالعه‌شده	پارامترهای مطالعه‌شده	منبع
ویژگی‌های مورفومتری نبکا	ارتفاع نبکا (متر)	Lang et al., 2013؛ پورخسروانی و همکاران، ۱۳۸۸؛ پورخسروانی و گلی مختاری، ۱۳۹۵؛ عرب‌عامری و حلبیان، ۱۳۹۶
	قطر قاعده نبکا (متر)	
	حجم نبکا (مترمکعب)	
	دامنه رو به باد (متر)	
	دامنه پشت به باد (متر)	
ویژگی‌های پوشش گیاهی	ارتفاع گیاه (متر)	Al-Awadhi, 2014؛ نگهبان و همکاران، ۱۳۹۲
	قطر تاج پوشش گیاه (متر)	

روش پژوهش

فرایند اجرای این پژوهش مطابق با شکل ۲ و برپایه مقایسه مؤلفه‌های مورفومتری نبکا و ویژگی‌های پوشش گیاهی طی یک دوره زمانی ۱۶ ساله پس از اجرای عملیات پخش سیلاب و جنگل کاری اداره منابع طبیعی شهرستان زابل انجام شده است. گفتنی است اجرای این طرح در سال ۱۳۸۲ با هدف جلوگیری از مدفون شدن روستای شریف‌آباد در پایین دست عرصه مطالعه‌شده انجام شده که متأثر از فرسایش بادی و هجوم شن‌های روان است. طی عملیاتی میدانی، ویژگی‌های پوشش گیاهی و مؤلفه‌های مورفومتری نبکا از جمله ارتفاع نبکا، قطر قاعده نبکا، حجم نبکا، قطر تاج پوشش گیاه، ارتفاع گیاه، دامنه رو به باد و دامنه پشت به باد طی سه بازه زمانی مختلف پس از اجرای طرح اندازه‌گیری شد. بدین منظور پس از استقرار پوشش گیاهی و ایجاد نبکا در منطقه در سال ۱۳۸۷ براساس روش تک‌بعدی و واحد نمونه برداری طولی با استقرار ۵ ترانسکت خطی به طول ۵۰ متر به‌طور تصادفی پارامترهای یادشده برای ۴۵ نبکا با پراکنش مناسب در سطح عرصه پژوهش اندازه‌گیری شد (نگهبان و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۳؛ پورخسروانی و گلی مختاری، ۱۳۹۵: ۲۲۳-۲۲۴). این فرایند به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ نیز تکرار شد. در شکل ۳، نمایی از پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در نبکا‌های منتخب ارائه شده است.

در این رابطه، V حجم مخروط نبکا به مترمکعب، r شعاع قاعده مخروط نبکا و h ارتفاع مخروط نبکا به متر است؛ همچنین به منظور تعیین بافت خاک از ۱۵ نبکا از اعماق ۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰ و ۴۰ تا ۶۰ سانتی متری رسوبات با استفاده از اگر نمونه برداری و آزمایش بافت برای این نمونه‌ها به روش هیدرومتری انجام شد (علی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۷: ۷۰۳). در تعیین بافت نمونه‌های برداشت شده از نبکاها، نخست با استفاده از ماده گلگان (هگزا متافسفات سدیم) و دستگاه همزن، جداسازی ذرات انجام و براساس روش هیدرومتری درصد ذرات شن، سیلت و رس تعیین شد (شکل ۴ و جدول ۲).



شکل ۴. نمایی از آزمایش هیدرومتری نمونه‌های رسوب برداشت شده

جدول ۲. تجزیه و تحلیل ذرات تشکیل دهنده رسوبات

بافت رسوبات	درصد ذرات تشکیل دهنده بافت رسوبات			نمونه
	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	
Sandy LOAM	۱۵	۵	۸۰	۱
Sandy LOAM	۱۴	۶	۸۱	۲
Sandy LOAM	۱۶	۵	۷۹	۳
Sandy LOAM	۱۹	۶	۷۵	۴
Sandy LOAM	۱۹	۵	۷۶	۵
Sandy	۶	۴	۹۰	۶
Sandy LOAM	۱۷	۵	۷۸	۷
Sandy	۶	۵	۸۹	۸
Sandy LOAM	۹	۶	۸۵	۹
Sandy	۵	۴	۹۱	۱۰
Sandy LOAM	۱۴	۶	۸۰	۱۱
Sandy LOAM	۸	۶	۸۶	۱۲
Sandy LOAM	۲۱	۶	۷۳	۱۳
Sandy	۹	۶	۸۵	۱۴
Sandy	۵	۴	۹۱	۱۵

در ادامه با تعیین بافت خاک به منظور به دست آوردن میزان وزن رسوبات نگهداری شده با نبکاها، با توجه به بافت رسوبات منطقه و تعیین وزن مخصوص ظاهری نمونه های رسوب (براساس روش ASTM)، وزن ذرات جامد رسوبات (Ms) براساس رابطه ۲ محاسبه شد.

$$Pb = \frac{Ms}{Vt} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه، P_b وزن مخصوص ظاهری، M_s ذرات جامد خاک برحسب تن و V_t حجم کل خاک برحسب مترمکعب است. در ادامه با اندازه گیری ویژگی های مورفومتری نبکاها، همبستگی مؤلفه های مورفومتری براساس آنالیز همبستگی و تحلیل رگرسیون چندمتغیره بررسی شد. به منظور مقایسه آماری ویژگی های مورفومتری نبکاها، ضمن بررسی نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف، از آزمون t در محیط نرم افزاری SPSS۲۳ استفاده شد (ترنج زر و فتحی، ۱۳۹۴: ۳۸؛ عرب عامری و حلبیان، ۱۳۹۶: ۹۸).

یافته های پژوهش

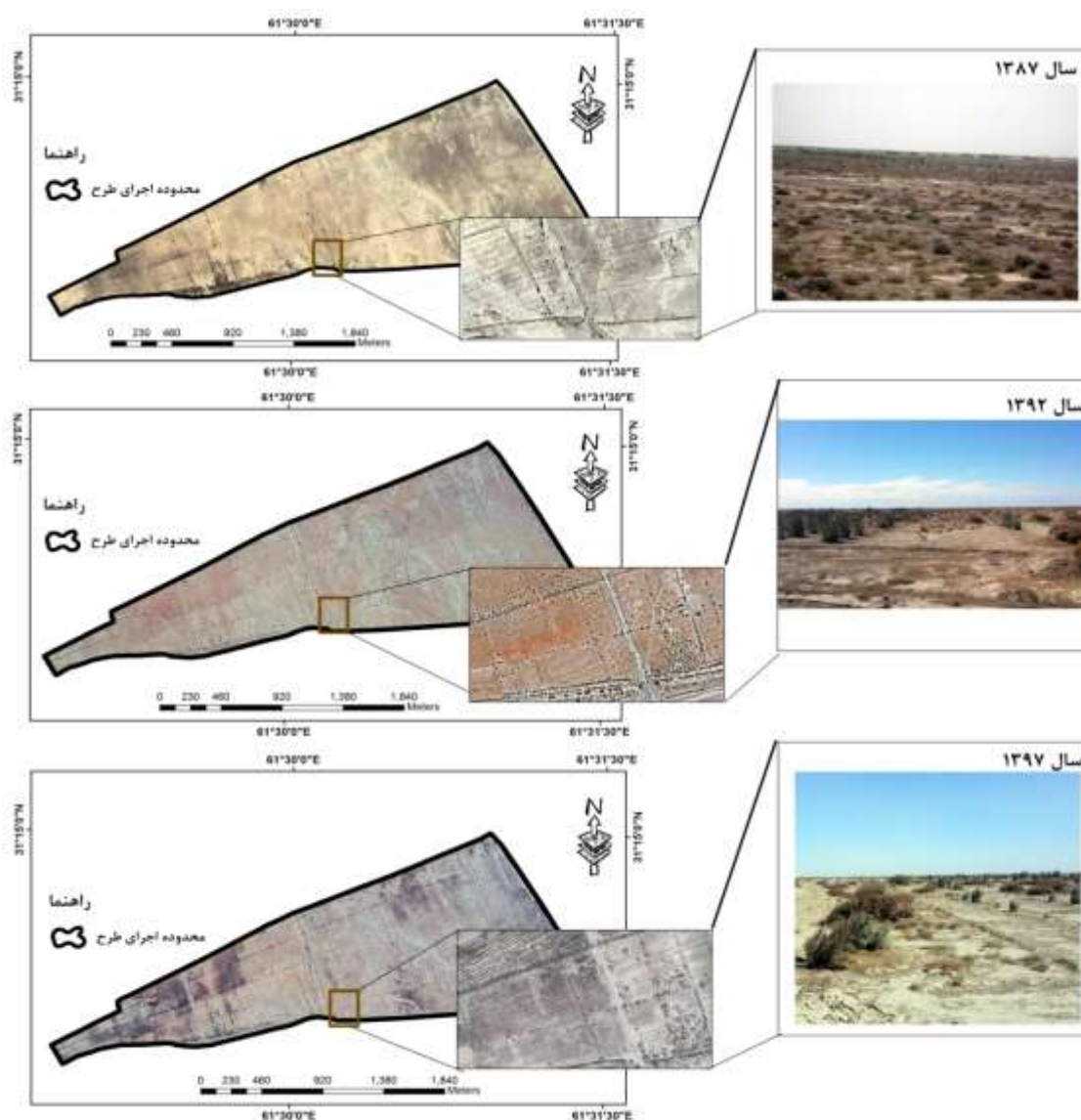
بررسی ویژگی های مورفولوژی نبکاها

نتایج آمار توصیفی مؤلفه های مورفومتری نبکاها انتخاب مربوط به گونه گیاهی از نوع گز (*Tamarix*) طی سه بازه زمانی مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. با اجرای عملیات پخش سیلاب و جنگل کاری، با استقرار اولیه پوشش گیاهی در سال ۱۳۸۷، بیشترین ارتفاع نبکاها اندازه گیری شده، ۱/۲ و کمترین آن، ۰/۸ متر و میانگین ارتفاع نبکاها، ۱/۰۲ و دامنه آن، ۰/۴ متر است. حداکثر حجم نبکاها، ۰/۶۲۹ و حداقل آن، ۰/۲۶۵ مترمکعب و بیشترین قطر تاج پوشش و ارتفاع گیاه به ترتیب برابر با ۰/۸۴ و ۱ متر است؛ همچنین بیشترین اندازه دامنه پشت به باد برابر با ۱/۷ و بیشترین اندازه دامنه رو به باد برابر با ۱ متر است. براساس اندازه گیری های انجام شده در سال ۱۳۹۲، روند تغییرات این عوامل نسبت به سال ۱۳۸۷ به ترتیب $+1/8$ ، $+0/66$ ، $+0/75$ ، $+0/2$ ، $+0/16$ و $+0/22$ و در سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۹۲ به ترتیب برابر با $+13/62$ ، $+0/81$ ، $+1/2$ ، $+0/4$ ، $+1/52$ و $+1/7$ است که در مجموع طی دوره بررسی شده، مؤلفه های مورفومتری نبکاها به طور جالب توجهی افزایش یافته است. نمایی از استقرار پوشش گیاهی و تشکیل نبکاها طی سال های بررسی شده در شکل ۵ ارائه شده است.

در بررسی آمار توصیفی مؤلفه های مورفومتری نبکاها نتایج نشان دهنده تغییرات محسوس مقادیر دامنه، حداقل، حداکثر و میانگین تمام پارامترهای مطالعه شده است؛ به طوری که طی دوره بررسی شده همه مؤلفه های مطالعه شده به طور چشمگیری افزایش یافته اند. در تحلیل همبستگی معیارهای مورفومتری نبکاها انتخاب یافته ها نشان داد همبستگی عوامل مربوط به پوشش گیاهی (ارتفاع گیاه و قطر تاج پوشش) با سایر مؤلفه های بررسی شده در سطح ۹۹ درصد معنادار است که همبستگی زیاد این مؤلفه را با سایر مؤلفه های بررسی شده نشان می دهد. این امر حاکی از تأثیرپذیری بسیار زیاد ویژگی های مورفومتری نبکا (متغیرهای وابسته) از این دو متغیر مستقل است؛ به بیان دیگر با احیای پوشش گیاهی در منطقه پژوهش و رشد و تکامل آن (گونه گیاهی از نوع *Tamarix*)، ارتفاع و قطر تاج گیاه افزایش یافته که این فرایند باعث ایجاد و توسعه نبکاها در منطقه پژوهش شده است (جدول ۳).

جدول ۳. مشخصات آمار توصیفی پارامترهای مورفومتری نبکاهای منتخب

سال ۱۳۸۷							
مؤلفه	دامنه	حداقل	حداکثر	میانگین	واریانس	انحراف معیار	چولگی
ارتفاع نبکا (متر)	۰/۴	۰/۸	۱/۲	۱/۰۲	۰/۰۲۲	۰/۱۴۸	-۰/۵۵۲
قطر قاعده نبکا (متر)	۰/۶	۱/۶	۲/۲	۲/۰	۰/۰۶۰	۰/۲۴۴	-۱/۳۶
حجم نبکا (مترمکعب)	۰/۴۲۴	۰/۲۶۵	۰/۶۲۹	۰/۵۳	۰/۰۲۷	۰/۱۶۳	-۱/۴۱
ارتفاع گیاه (متر)	۰/۳۷۰	۰/۶۳	۱/۰	۰/۸۲	۰/۰۲	۰/۱۴۳	-۰/۲۴۴
قطر تاج پوشش گیاه (متر)	۰/۲۴۰	۰/۶	۰/۸۴	۰/۷۲	۰/۰۱۱	۰/۱۰۶	۰/۱۶۴
دامنه رو به باد (متر)	۱	۱	۲	۱/۴۸	۰/۱۸۷	۰/۴۳۲	۰/۰۴۱
دامنه پشت به باد (متر)	۰/۹	۱/۷	۲/۶	۲/۲۶	۰/۱۵۳	۰/۳۹۱	-۰/۸۷۹
سال ۱۳۹۲							
مؤلفه	دامنه	حداقل	حداکثر	میانگین	واریانس	انحراف معیار	چولگی
ارتفاع نبکا (متر)	۰/۵	۱/۴	۱/۹	۱/۶۸	۰/۰۳۷	۰/۱۹۲	-۰/۵۹۰
قطر قاعده نبکا (متر)	۰/۶	۳/۰	۳/۶	۳/۲۴	۰/۰۶۸	۰/۲۶۰	۰/۵۴۱
حجم نبکا (مترمکعب)	۱/۵۵	۱/۶۳	۳/۱۸	۲/۳۲	۰/۳۷۳	۰/۶۱۰	۰/۴۲۵
ارتفاع گیاه (متر)	۰/۱	۱/۰	۱/۱	۱/۰۲	۰/۴۱۲	۰/۵۷	۱/۵
قطر تاج پوشش گیاه (متر)	۰/۵۳	۱/۲	۱/۷۳	۱/۴۷	۰/۰۴۴	۰/۲۱۲	-۰/۰۸۵
دامنه رو به باد (متر)	۰/۹	۱/۱	۲	۱/۶۲	۰/۱۱۷	۰/۳۴۲	-۰/۸۴۵
دامنه پشت به باد (متر)	۱/۱	۱/۷	۲/۸	۲/۴۸	۰/۱۶۷	۰/۴۰۸	-۰/۲۷۴
سال ۱۳۹۷							
مؤلفه	دامنه	حداقل	حداکثر	میانگین	واریانس	انحراف معیار	چولگی
ارتفاع نبکا (متر)	۲	۱/۵	۳/۵	۲/۴۹	۰/۳۸۴	۰/۶۱۹	۰/۳۸۱
قطر قاعده نبکا (متر)	۵/۴	۳/۴	۸/۸	۶/۳۷	۲/۹۶	۱/۷۲	۰/۲۳۰
حجم نبکا (مترمکعب)	۲۹/۸۵	۳۲/۰۹	۲/۲۴	۱۵/۶۹	۱۰۶/۷	۱۰/۳۳	۰/۲۵۱
ارتفاع گیاه (متر)	۱	۰/۸	۱/۸	۱/۴۲	۰/۰۷۲	۱/۷۶	۰/۳۷۲
قطر تاج پوشش گیاه (متر)	۳/۵	۱/۵	۵	۲/۶۷	۰/۹۴۵	۰/۹۷۲	۰/۹۳۳
دامنه رو به باد (متر)	۳/۳	۱/۷	۵	۳/۰۷	۰/۷۹۸	۰/۸۹۳	۰/۰۷۷
دامنه پشت به باد (متر)	۵/۴	۲	۷/۴	۴/۲۲	۱/۶۸	۱/۲۹۷	۰/۳۳۲



شکل ۵. وضعیت پوشش گیاهی و نیکاهای تشکیل شده در محدوده پژوهش طی سه بازه زمانی مختلف (۱۳۸۷-۱۳۹۲-۱۳۹۷)

تحلیل همبستگی ویژگی‌های مورفومتری نیکاهای منتخب

نتایج حاصل از همبستگی مؤلفه‌های مورفومتری نیکاهای گونه گیاهی گز در جدول ۴ ارائه شده است. تحلیل همبستگی معیارهای مورفومتری نیکاهای منتخب نشان می‌دهد ارتفاع نیکا با سه مؤلفه قطر تاج پوشش، دامنه رو به باد و پشت به باد همبستگی معنادار دارد، اما با سایر مؤلفه‌های بررسی شده هیچ گونه همبستگی نشان نمی‌دهد؛ در مقابل همبستگی ارتفاع گیاه با سایر مؤلفه‌های بررسی شده در سطح ۹۹ درصد معنادار است که همبستگی زیاد این مؤلفه را با سایر مؤلفه‌های بررسی شده نشان می‌دهد. این فرایند بیان‌کننده آن است که با افزایش ارتفاع این گونه گیاهی، میزان ماسه بیشتری با اندام‌های هوایی گیاه به دام افتاده که موجب گسترش و تکامل تپه نیکا در همه جهت‌ها شده است. در

بررسی ارتباط قطر تاج پوشش با سایر مؤلفه‌ها نیز، یافته‌ها حاکی از همبستگی زیاد این معیار با سایر مؤلفه‌های بررسی شده است. این مسئله بیان‌کننده این امر است که قطر تاج پوشش نقش بسزایی در توسعه و تکامل نبکاهای مطالعه شده داشته که این مهم با اجرای عملیات جنگل کاری و استقرار پوشش گیاهی در منطقه صورت گرفته است؛ بر این اساس ارتفاع گیاه و قطر تاج پوشش که دو متغیر مستقل هستند (به جز با یکدیگر) با همه مؤلفه‌های مورفومتری نبکا همبستگی زیاد دارند که این امر نشان‌دهنده تأثیرپذیری بسیار زیاد ویژگی‌های مورفومتری نبکا (متغیرهای وابسته) از این دو متغیر مستقل است. ویژگی‌های منتخب دیگر که به نوعی متغیر وابسته به شمار می‌روند نیز، همبستگی معناداری با سایر مؤلفه‌های مطالعه شده دارند.

جدول ۴. تحلیل همبستگی معیارهای مورفومتری نبکاهای مطالعاتی

متغیر	ارتفاع نبکا (متر)	ارتفاع گیاه (متر)	قطر تاج پوشش گیاه (متر)	حجم نبکا (مترمکعب)	دامنه رو به باد (متر)	دامنه پشت به باد (متر)
ارتفاع نبکا (متر)	۱					
ارتفاع گیاه (متر)	۰/۲۹۰	۱				
قطر تاج پوشش گیاه (متر)	۰/۴۲۴*	۰/۷۸۶**	۱			
حجم نبکا (مترمکعب)	۰/۳۰۷	۰/۸۰۹**	۰/۸۸۴**	۱		
دامنه رو به باد (متر)	۰/۴۲۴*	۰/۸۲۹**	۰/۸۴۵**	۰/۹۶۵**	۱	
دامنه پشت به باد (متر)	۰/۴۷۹**	۰/۸۳۰**	۰/۸۶۲**	۰/۸۶۲**	۰/۹۱۴**	۱

* رابطه در سطح ۹۵ درصد معنادار است. ** رابطه در سطح ۹۹ درصد معنادار است.

معادلات رگرسیونی گام‌به‌گام بین صفات مربوط به نبکاها با عوامل پوشش گیاهی

به منظور برآورد معادلات رگرسیونی گام‌به‌گام بین صفات مربوط به نبکاها با عوامل پوشش گیاهی، حجم نبکاها به مثابه متغیر وابسته و عوامل مربوط به پوشش گیاهی از جمله ارتفاع گیاه، قطر تاج پوشش و مساحت تاج پوشش گیاهی به مثابه متغیر مستقل وارد مدل رگرسیونی شدند. براساس نتایج به دست آمده، مساحت تاج پوشش گیاهی، ۹۲/۹ درصد تغییرات حجم نبکاهای ایجاد شده را در محدوده اجرای طرح توجیه می‌کند (جدول ۵)؛ به طوری که اگر Y حجم نبکا و X_1 مساحت پوشش گیاهی در نظر گرفته شود، معادله کلی رگرسیون گام‌به‌گام به صورت رابطه زیر است:

$$Y = -12/5 + 15/11 X_1 \quad \text{رابطه ۳}$$

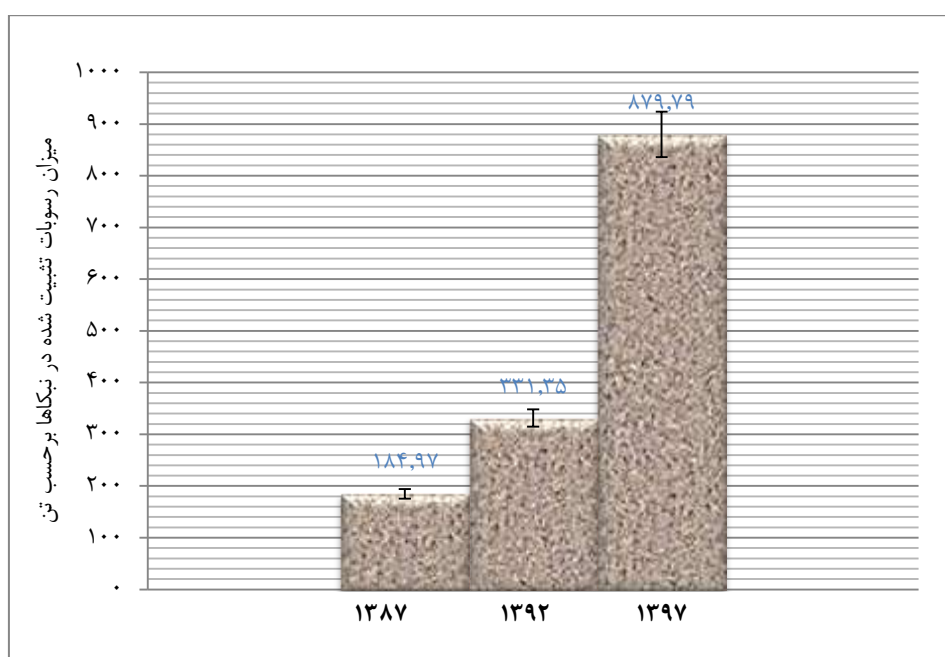
در این معادله Y ، حجم نبکا و X_1 ، مساحت پوشش گیاهی است. با توجه به معادله به دست آمده، مساحت پوشش گیاهی در جهت مثبت بر حجم نبکاهای ایجاد شده تأثیرگذار است.

جدول ۵. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام حجم نبکاها با مؤلفه‌های پوشش گیاهی

مراحل رگرسیون گام‌به‌گام	
۱	
-۱۲/۵	عدد ثابت
۱۵/۱۱	مساحت پوشش گیاهی
۰/۹۲۹	ضریب تبیین R^2

بررسی مقدار رسوبات تثبیت‌شده در نیک‌ها

با تعیین بافت رسوبات تثبیت‌شده (دارای بافت شنی تا شن-لوم) در نیک‌ها و برآورد وزن مخصوص ظاهری رسوبات (۱/۷)، مقدار وزن رسوبات تثبیت‌شده (M_s) در نیک‌های منتخب طی دوره بررسی‌شده برآورد شد (شکل ۶). براساس نتایج به‌دست‌آمده، میزان رسوب تثبیت‌شده در نیک‌ها در سال ۱۳۸۷ برابر با ۱۸۴/۹۷ تن بوده که این میزان در سال ۱۳۹۲ به ۳۳۱/۳۵ تن و در سال ۱۳۹۷ به ۸۷۹/۷۹ تن افزایش یافته است؛ این روند، تغییرات زیادی را در میزان رسوب تثبیت‌شده طی دوره بررسی‌شده نشان می‌دهد؛ به‌طوری که با مقایسه آماری داده‌های اندازه‌گیری‌شده، یافته‌ها بیان‌کننده اختلاف معنادار (در سطح یک درصد) بین مقدار رسوب تثبیت‌شده در نیک‌ها طی سال‌های بررسی‌شده است (جدول ۶).



شکل ۶. مقایسه میزان رسوب تثبیت‌شده در نیک‌های منتخب طی دوره بررسی‌شده

جدول ۶. تجزیه میانگین میزان رسوب تثبیت‌شده در نیک‌ها طی دوره بررسی‌شده

متغیر	سال	میانگین	انحراف معیار	t آزمون		
				Sig	Df	T
میزان رسوب تثبیت‌شده	سال اول	۱/۴۳	۰/۴۳۹	۰/۰۰*	۴۵	-۶/۴۱
	سال دوم	۶/۲۵	۱/۶۴۲			
میزان رسوب تثبیت‌شده	سال اول	۱/۴۳	۰/۴۳۹	۰/۰۰*	۴۵	-۹/۲۴
	سال سوم	۶۹/۴۴	۱۶/۶۰			
میزان رسوب تثبیت‌شده	سال دوم	۶/۲۵	۱/۶۴۲	۰/۰۰*	۴۵	-۸/۶۳
	سال سوم	۶۹/۴۴	۱۶/۶۰			

* معناداری در سطح یک درصد

نتیجه‌گیری

بررسی مورفومتری نبکاهای مطالعه‌شده نشان می‌دهد هرچه مورفولوژی گیاهی مانند ارتفاع گیاه و قطر تاج پوشش بیشتر باشد، گیاه میزان بیشتری از رسوبات بادی را به دام می‌اندازد و نبکاهای بزرگ‌تری را ایجاد می‌کند. این یافته با نتایج پورخسروانی و همکاران (۱۳۸۹)، ترنج‌زر و فتحی (۱۳۹۴) و نگهبان و روشن (۱۳۹۸) مطابقت دارد. پوشش گیاهی، بخشی مهم در تشکیل نبکا و عاملی مؤثر در به‌دام‌انداختن رسوبات بادی و تثبیت آنها در نبکاهاست (Du et al., 2010: 714; Jun & Lin, 2003: 573). با توجه به شاخص‌های مورفولوژیکی گونه گیاهی درخت گز، کشت این گونه گیاهی در منطقه پژوهش نقشی بسیار اساسی در ارتفاع تپه‌های نبکا دارد و هرچه حجم تر باشد، ماسه‌های بیشتری را به دام می‌اندازد و موجب گسترش نبکاها می‌شود؛ به‌طوری که براساس نتایج به‌دست‌آمده از مدل رگرسیونی، مساحت تاج پوشش گیاهی، ۹۲/۹ درصد تغییرات حجم نبکاهای ایجادشده در محدوده اجرای طرح را توجیه می‌کند. این امر گویای تأثیر مثبت مساحت پوشش گیاهی بر حجم نبکاهای ایجادشده در منطقه است که با استقرار کامل پوشش گیاهی در منطقه صورت گرفته و با یافته‌های مقصودی و همکاران (۱۳۹۴)، پورخسروانی و گلی‌مختاری (۱۳۹۵)، احمد و همکاران (۲۰۱۵) و ال-دوساری و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی اثر پوشش گیاهی بر ویژگی‌های مورفومتری نبکاها مطابقت دارد.

پوشش گیاهی تأثیر بسزایی بر شرایط دینامیکی رسوبات با کاهش انتقال رسوب و محدودکردن منابع آن دارد (Haney et al., 2008: 1562). در بررسی میزان رسوبات تثبیت‌شده در نبکاها، یافته‌ها نشان می‌دهد با افزایش پوشش گیاهی و توسعه نبکاها، میزان رسوب تثبیت‌شده در آنها نیز افزایش یافته است؛ به‌طوری که با مقایسه آماری داده‌های اندازه‌گیری‌شده، یافته‌ها بیان‌کننده اختلاف معنادار (در سطح یک درصد) بین مقدار رسوب تثبیت‌شده در نبکاها طی سال‌های بررسی‌شده است. این فرایند نقش مؤثر احیای پوشش گیاهی را در تثبیت شن‌های روان در منطقه نشان می‌دهد. در بررسی جهت‌یافتگی خاص نبکاها، یافته‌ها بیان‌کننده آن است که وزش بادهای غالب در منطقه، عامل اصلی تشکیل این نبکاها در محدوده پژوهش بوده است. از آنجا که نبکاها در مناطقی که انرژی باد کم باشد به‌خوبی توسعه می‌یابند، استقرار پوشش گیاهی با توجه به جهت ردیف‌های کشت (شمال شرقی - جنوب غربی) که عمود بر جهت وزش بادهای غالب در منطقه است و همچنین وجود دایک دریاچه هامون به مثابه مانعی در مسیر وزش بادهای منطقه، با خنثی‌سازی اثر باد شرایطی مناسب را برای تشکیل نبکا در منطقه پژوهش فراهم کرده است؛ این نتیجه با نتایج پژوهش‌های وانگ و همکاران (۲۰۰۸) و لانگ و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی دارد. در این پژوهش‌ها بر عملکرد فعالیت باد در تشکیل نبکاها و توسعه نبکاها در مناطقی تأکید شده که انرژی باد کمتر بوده است.

در پژوهش حاضر برای نخستین بار در منطقه سیستم، تأثیر احیای پوشش گیاهی بر مؤلفه‌های مورفومتری نبکا و نقش آن در تثبیت شن‌های روان طی یک بازه زمانی ۱۶ ساله بررسی شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، پس از اجرای عملیات پخش سیلاب و جنگل‌کاری اداره منابع طبیعی شهرستان زابل در سال ۱۳۸۲، با استقرار اولیه پوشش گیاهی از جمله گونه گز (*Tamarix*)، زمینه مناسبی برای تشکیل نبکاها فراهم شد که پیرو آن، میزان زیادی از رسوبات بادی در نبکاها تثبیت شد و با تکامل ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه (قطر تاج پوشش و ارتفاع)، این نبکاها گسترش یافت؛ این امر به تثبیت و کنترل تپه‌های ماسه‌ای و شن‌های روان در منطقه انجامید.

بر این اساس با احیای پوشش گیاهی در منطقه، زمینه مناسبی برای ایجاد نیکاهای فراهم شده که بخش زیادی از رسوبات بادی در آنها تثبیت شده است. اگر عملیات پخش سیلاب و جنگل کاری در این منطقه اجرا نمی شد، روستای شریف‌آباد در پایین دست در شن‌های روان مدفون می شد؛ از این رو با توجه به اینکه منطقه سیستم همواره متأثر از فرسایش بادی و معضل شن‌های روان بوده است، پیشنهاد می شود احیای پوشش گیاهی در قالب طرح‌های پخش سیلاب و جنگل کاری در مناطق مستعد برای تثبیت کانون‌های فرسایشی و کنترل شن‌های روان در سایر نقاط منطقه سیستم اجرا شود؛ همچنین به منظور استقرار پوشش گیاهی طی سال‌های ابتدای کشت، این عرصه‌ها قرق و از چرای دام در این مناطق جلوگیری شود.

منابع

- پورخسروانی، محسن، ولی، عباسعلی، معیری، مسعود، (۱۳۸۸). بررسی ارتباط مورفولوژی گیاهی با خصوصیات مورفومتری نیکاهای گونه روماریا تورسستانیکا، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۹، شماره ۶۹، ۹۹-۱۱۳.
- پورخسروانی، محسن، ولی، عباسعلی، معیری، مسعود، (۱۳۸۹). بررسی ارتباط مورفولوژی گیاهی با خصوصیات مورفومتری نیکاهای گونه *Tamarix mascatensis* در منطقه خیرآباد سیرجان، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۱۵، شماره ۳۲، ۲۱۹-۲۳۷.
- پورخسروانی، محسن، گلی مختاری، لیلا، (۱۳۹۵). بررسی روابط رشد در نیکاهای دشت نگار بردسیر، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۳۱، شماره ۱، ۲۲۱-۲۲۷.
- ترنج‌زر، حمید، فتحی، آزاده، (۱۳۹۴). بررسی ویژگی‌های مورفومتری نیکاهای تپ گیاهی بره‌تاغ در کویر میقان (اراک)، نشریه مهندسی اکوسیستم بیابان، دوره ۴، شماره ۹، ۳۵-۴۲.
- جهان‌تیغ، معین، جهان‌تیغ، منصور، (۱۳۹۸). بررسی تأثیر بهره‌وری سیلاب بر روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های میدانی و تصاویر لندست؛ مطالعه موردی: منطقه شندک سیستم، نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۱۰، شماره ۴، ۵۷-۷۳.
- جهان‌تیغ، منصور، جهان‌تیغ، معین، (۱۳۹۶). مطالعه تأثیر تورکینست بر ویژگی‌های خاک در مناطق خشک؛ مطالعه موردی: جنوب غرب سیستم، سامانه‌های سطوح آبگیر باران، دوره ۵، شماره ۱۴، ۱۱-۱۸.
- عرب‌عامری، علیرضا، حلبیان، امیرحسین، (۱۳۹۶). آنالیز مؤلفه‌های مورفومتری نیکاهای و معرفی مناسب‌ترین نوع آن برای تثبیت ماسه‌های روان با استفاده از الگوریتم ELECTRE؛ مطالعه موردی: ریگ چاه جام، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۶۶، شماره ۲، ۹۳-۱۰۸.
- علی‌نژاد، محمد، حسینعلی‌زاده، محسن، اونق، مجید، محمدیان بهبهانی، علی، (۱۳۹۷). بررسی الگوی پراکنش مکانی نیکا؛ مطالعه موردی: دشت صوفیکم، استان گلستان، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۰، شماره ۴، ۶۹۷-۷۱۲.

محمودی، طیبه، خوشحال، جواد، موسوی، حجت، پورخسروانی، محسن، (۱۳۹۲). مقایسه تأثیر نبکاهای کویر سیرجان در تثبیت ماسه‌های روان با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، پژوهش‌های فرسایش محیطی، دوره ۳، شماره ۱۱، ۶۵-۷۹.

مقصودی، مهران، پاریزی، اسماعیل، ویسی، عبدالکریم، (۱۳۹۴). تحلیل مقایسه‌ای ویژگی‌های اکوژئومورفولوژیکی نبکاهای سیرجان و شهر بابک، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۶، شماره ۲۲، ۱۰۴-۱۲۰.

نگارش، حسین، لطیفی، لیلا، (۱۳۸۸). تحلیل ژئومورفولوژیکی روند پیشروی تپه‌های ماسه‌ای شرق دشت سیستان در خشکسالی‌های اخیر، جغرافیا و توسعه، دوره ۱۲، شماره ۱۲، ۴۳-۶۰.

نگهبان، سعید، یمانی، مجتبی، مقصودی، مهران، عزیزی، قاسم، (۱۳۹۲). بررسی تراکم، ژئومورفولوژی و پهنه‌بندی ارتفاعی نبکاهای حاشیه غربی دشت لوت و تأثیرات پوشش گیاهی بر مورفولوژی آنها، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱، شماره ۴، ۱۷-۴۲.

یوسفی، محمدجواد، راشکی، علیرضا، فرزام، محمد، کاشکی، محمدتقی، (۱۳۹۸). انتخاب مناسب‌ترین نوع گونه گیاهی نبکا برای تثبیت ماسه‌های روان با استفاده از مدل AHP؛ مطالعه موردی: منطقه صمدآباد شهرستان سرخس، فصلنامه فضای جغرافیایی، دوره ۱۹، شماره ۶۶، ۲۵۳-۲۶۷.

یوسفی، محمدجواد، راشکی، علیرضا، فرزام، محمد، کاشکی، محمدتقی، (۱۳۹۶). مقایسه نبکاهای گونه‌های گیاهی خارشتر، اسپند و سبد پاکوتاه برای تثبیت ماسه‌های روان با استفاده از الگوریتم TOPSIS؛ مطالعه موردی: منطقه صمدآباد شهرستان سرخس، مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، دوره ۶، شماره ۱۵، ۳۵-۴۸.

Al-Awadhi, J., (2014). **The Effect of a Single Shrub on Wind Speed and Nabkhas Dune Development: A Case Study in Kuwait**, International Journal of Geosciences.

Al-Dousari, A., Ahmed, M., Al-Dousari, N., Al-Awadhi, S., (2018). **Nabkha Morphometry and Properties of Aeolian Sediments around Native Plants in Kuwait**, Journal of Geosciences, 1st conference of the Arabian, Tunisia.

Ahmed, M., Al-Dousari, N., Al-Dousari, A., (2015). **The role of dominant perennial native plant species in controlling the mobile sand encroachment and fallen dust problem in Kuwait**, Arabian Journal of Geosciences, Vol 9 (2), Pp 134- 141.

Corrigan, B.M., Van-Wyk, B.E., Geldenhuys, C.J., Durand, J.F., (2008). **Vegetation cover changes of the Sand Forest in the KwaNibela Peninsula, St Lucia from 1937–2002**. South African, Journal of Botany, Vol 74, Pp 364- 373.

Dougill, A.J., Thomas, A.D., (2002). **Nebkha dunes in the Molopo Basin, south Africa and Botswana formation controls and their validity as indicators of soil degradation**, Journal of arid environment, Vol 50, Pp 413- 423.

Du, J., Yan, P., Dong, Y., (2010). **The progress and prospects of nebkhas in arid areas**, Journal of Geographical Sciences, Vol 20 (5), Pp 712- 728.

Haney, A., Marlin, B., Steven, A., Emily, L., Tom, P., (2008). **Gradient analysis of an eastern sand savanna's woody vegetation, and its long-term responses to restored fire processes**, Forest Ecology and Management, Vol 256, Pp 1560- 1571.

Jun, R., Lin, T., (2003). **A numerical taxonomy of the genus Nitraria from Gansu Province, China**, Journal of Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, Vol 23 (4), Pp 572- 576.

- Karavas, N., Kyriacos, G., Margarita, A., Dimitris, D., (2005). **Vegetation and sand characteristics influencing nesting activity of *Caretta caretta* on Sekania beach**, Biological Conservation, Vol 121, Pp 177- 188.
- Lancaster, N., Baas, A.C.W., (1998). **Influence of Vegetation Cover on Sand Transport by Wind: Field Studies at Owens Lake, California**, Journal of Earth Surface Processes and Landforms, Vol 23, Pp 69- 82.
- Lang, L., Wang, X., Hasi, E., Hua, T., (2013). **Nebkha (coppice dune) formation and significance to environmental change reconstructions in arid and semiarid areas**, Journal of Geographical Sciences, Vol 23 (2), Pp 344- 358.
- Luo, W., Zhao, W., Liu, B., (2016). **Growth stages affect species richness and vegetation patterns of nebkhas in the desert steppes of China**, Catena, Vol 137, Pp 126- 133.
- Negahban, S., Roshan, G.h., (2020). **Reconstructing the Environmental Changes in the Western Border of Lut Plain Based on the Study of Nebkhas**, Journal of the Earth and Space Physics, Vol 45 (4), Pp 203- 217.
- Wang, X., Xiao, H., Li, J., Qiang, M., Su, Z., (2008). **Nebkha development and its relationship to environmental change in the Alaxa Plateau, China**, Journal of Environmental Geology, Vol 56 (2), Pp 359- 365.
- Zhizhong, L., Shengli, W., Chen, Sh., Chen, X., Jianhui, J., QI, L., (2010). **Bio-geomorphologic Features and Growth Process of Tamarix Nabkhas in Hotan River Basin, Xinjiang**, Journal of Geographical Sciences, Vol 20 (2), Pp 205- 218.