



Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>

Original Article



Monitoring changes in the integrity of mangroves of the Hara Biosphere Reserve in the face of rainfall changes and drought occurrence

Davood Mafi-Gholami ^{1*}, Abolfazl Jaafari ²

1. Department of Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

2. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

* **Corresponding Author Email:** d.mafigholami@nres.sku.ac.ir

Received: 13 March 2020

Revise Date: 23 December 2021

Accepted: 08 January 2022

DOI: 10.22113/JMST.2022.223331.2359

Abstract

Examining long-term changes in the integrity or fragmentation trends of mangroves due to climate change can lead to a more precise understanding of structural changes in mangroves and their connection to the impacts of climate change. This study investigates the changes in the integrity status of the Hara Biosphere Reserve mangroves in Qeshm in response to variations in rainfall and drought over a 31-year period (1986-2017). For this purpose, a 31-year time series of satellite images and rainfall data were used, and values for the Number of Patches (NP) and Largest Patch Index (LPI) metrics, as well as SPI values, were prepared over the period. The results of changes in the number of patches and the largest patch index of mangroves during periods of wet years (before 1998) and drought years (after 1998) showed that with the increase in SPI values (positive values) before 1998, the number of patches and the largest patch index decreased, while in the period after 1998, with negative SPI values, the number of patches and the largest patch index increased. In fact, the results indicated an increase in the extent of core areas and large vegetative patches (increased structural integrity) of the reserve during the wet period and the reverse trend during the drought period. Based on landscape ecology principles, the increase in the number of patches and the largest patch index (due to the reduction in the total area of vegetation) in the period after 1998 indicates the degradation of this habitat in recent years. The results of this study can be used to assess the vulnerability of these habitats to the impacts of climate change.

Keywords: Landscape, Climate Change, Satellite Images

1. INTRODUCTION:

Analyzing changes in mangroves and examining their relationship with drought can provide valuable information about the adverse effects of climate change on mangroves. Specifically, investigating long-term changes in the integrity or fragmentation trends of mangroves in response to climatic changes can lead to a more precise understanding of the structural changes in mangroves and their connection to climate change impacts. The results can serve as a decision-support tool, playing a crucial role in developing climate change adaptation programs for these habitats (Reddy et al., 2018). In fact, examining the relationship between changes in mangrove integrity over time can play a significant role in identifying sensitive and vulnerable

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



habitats and enhancing the effectiveness and success of restoration programs, thereby increasing their adaptability and resilience to multiple environmental hazards (Hauser et al., 2017). Therefore, the aim of this study is to investigate changes in the integrity (fragmentation) status of the Hara Biosphere Reserve mangroves in Qeshm in response to variations in rainfall and drought over a 31-year period (1986-2017). For this purpose, a 31-year time series of satellite images and rainfall data were utilized.

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, the relationship between drought occurrence and changes in mangrove integrity was investigated by calculating annual SPI values. For this purpose, a 31-year dataset (1986 to 2017) of monthly rainfall from the Khomir synoptic station, located near the Hara Biosphere Reserve, was used. After performing geometric and radiometric corrections on the 31-year time series (1986-2017) of Landsat images, the time series of mangrove extent maps for the Hara Biosphere Reserve was prepared. Then, the time series of changes in the integrity or fragmentation of the Hara Biosphere Reserve mangroves was prepared using two landscape metrics: The Number of Patches (NP) and the Largest Patch Index (LPI). These metrics are the best indicators of changes in the degree of fragmentation of these ecosystems. Finally, the relationship between changes in landscape metrics and the severity of drought over the 31-year period was analyzed, and the changes in metric values before and after 1998 (the change point in drought occurrence trends in southern Iran) were examined.

3. RESULTS

The results showed that from 1986 to 1998, the SPI values increased (positive SPI values indicating a wet period), and then, over the 19-year period following 1998, the SPI values decreased and consistently exhibited negative values (drought period). Analysis of the obtained results indicated that the values of the NP and LPI metrics in the Hara Biosphere Reserve fluctuated over the 31-year period (1986-2017). Specifically, the changes in the largest patch area in the Hara Biosphere Reserve showed an increase during the pre-1998 period (wet period) and a gradual decrease thereafter until the end of the 31-year period. The results demonstrated that the trend of changes in the LP over the 31-year period (1986-2017) was opposite to the trend in the largest patch area. The LPI value gradually decreased from 1986 to 1998 (wet period) and then increased until the end of the 31-year period (drought period). The NP decreased during the 12-year period (1986-1998), with the number of patches in the reserve being 1281 in 1986 and 911 in 1998. As the results show, the number of patches in the reserve increased during the period following 1998 (drought period), reaching 1639 by the end of the 31-year period.

4. CONCLUSION

The study showed that between 1986 and 1998 (wet period), as the number of patches in the reserve decreased, the area of the largest patch increased. This increase in the largest patch area, along with a decrease in the number of patches, indicates an increase in the reserve's integrity through the expansion of core areas and large vegetative patches in this habitat during the pre-1998 period (wet period). This increase in integrity could have a significant impact on the distribution and higher diversity of animal species dependent on mangroves (Li et al., 2013). Conversely, an increase in the number of patches, a decrease in the size of large patches, and the presence of gaps between patches disrupt biological exchanges and biodiversity at the habitat level, as well as reduce gene flow among subpopulations within the patches (Li et al., 2013). These changes were observed in the mangroves of the reserve during the drought period after 1998.

The study by Mafi-Gholami et al. (2017) showed that the area of mangroves in the Hara Biosphere Reserve decreased during the long-term drought period after 1998. The results of this study also indicated that alongside an increase in the number of patches (increased fragmentation of large vegetative patches) during the post-1998 period, the largest patch index in this habitat increased. Since the largest patch index is derived from the ratio of the largest patch area to the total habitat area, the increase in the largest patch index results from the decrease in the total habitat area during the long-term drought period post-1998. According to landscape ecology principles, an increase in the number of patches along with a decrease in the size of large patches and the total area of an ecosystem over time indicates degradation (Riitters et al., 2002). The decrease in area and the increase in the number of patches in the Hara Biosphere Reserve also indicate the degradation of this habitat during the recent long-term drought periods.

REFERENCES

- Hauser, L.T., Vu, G.N., Nguyen, B.A., Dade, E., Nguyen, H.M., Nguyen, T.T.Q., Le, T.Q., Vu, L.H., Tong, A.T.H. and Pham, H.V., 2017. Uncovering the spatio-temporal dynamics of land cover change and fragmentation of mangroves in the Ca Mau peninsula, Vietnam using multi-temporal SPOT satellite imagery (2004–2013). *Applied Geography*, 86, pp.197-207. DOI: 10.1016/j.apgeog.2017.06.019
- Li, M.S., Mao, L.J., Shen, W.J., Liu, S.Q. and Wei, A.S., 2013. Change and fragmentation trends of Zhanjiang mangrove forests in southern China using multi-temporal Landsat imagery (1977–2010). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130, pp.111-120. DOI: 10.1016/j.ecss.2013.03.023
- Mafi-Gholami, D., Mahmoudi, B., and Zenner, E. K., 2017. An analysis of the relationship between drought events and mangrove changes along the northern coasts of the Persian Gulf and Oman Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 141-151. DOI: 10.1016/j.ecss.2017.10.008
- Reddy, C.S., Saranya, K.R.L., Pasha, S.V., Satish, K.V., Jha, C.S., Diwakar, P.G., Dadhwal, V.K., Rao, P.V.N. and Murthy, Y.K., 2018. Assessment and monitoring of deforestation and forest fragmentation in South Asia since the 1930s. *Global and Planetary Change*, 161, pp.132-148. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2017.10.007
- Riitters, K.H., Wickham, J.D., O'Neill, R.V., Jones, K.B., Smith, E.R., Coulston, J.W., Wade, T.G. and Smith, J.H., 2002. Fragmentation of continental United States forests. *Ecosystems*, 5, pp.0815-0822. DOI: 10.1007/s10021-002-0209-2



مقاله پژوهشی

Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>



پایش تغییرات یکپارچگی مانگروهای ذخیره گاه زیست کره حرا در مواجهه با تغییرات بارندگی و وقوع خشکسالی

داود مافی غلامی^{۱*}، ابوالفضل جعفری^۲

۱. گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۲. مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

نویسنده مسئول، پست الکترونیک: d.mafigholami@nres.sku.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۳

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/JMST.2022.223331.2359

چکیده

بررسی تغییرات یکپارچگی یا روند تکه تکه شدن مانگروها در بلندمدت در اثر تغییر اقلیم می تواند سبب شناخت دقیق تر تغییرات ساختاری در مانگروها و ارتباط آن با پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم شود. پژوهش پیش رو به بررسی تغییرات رخ داده در وضعیت یکپارچگی مانگروهای ذخیره گاه زیست کره حرای قسم در مواجهه با تغییر بارندگی و وقوع خشکسالی در طول یک دوره ۳۱ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۷) پرداخته است. بدین منظور از سری زمانی ۳۱ ساله تصاویر ماهواره ای و داده های بارندگی استفاده شد و مقادیر سنجه های تعداد لکه (NP) و نمایه بزرگترین لکه (LPI) و نیز مقادیر SPI در طول دوره تهیه شد. نتایج تغییرات تعداد لکه و نمایه بزرگترین لکه مانگروها در دوره های وقوع ترسالی (پیش از سال ۱۹۹۸) و خشکسالی (پس از سال ۱۹۹۸) نشان داد که با افزایش مقادیر SPI (مقادیر مثبت) در دوره پیش از سال ۱۹۹۸، از تعداد لکه ها و نمایه بزرگترین لکه کاسته شده بود و در دوره پس از سال ۱۹۹۸ و با منفی بودن مقادیر SPI، تعداد لکه و نمایه بزرگترین لکه افزایش یافت. در واقع، نتایج نشان دهنده افزایش وسعت هسته های اصلی و لکه های رویشی بزرگ (افزایش یکپارچگی ساختاری) ذخیره گاه در دوره زمانی ترسالی و روند معکوس آن در دوره خشکسالی بود. بر اساس اصول بوم شناسی سرزمین، افزایش تعداد لکه ها و نیز افزایش مقدار نمایه بزرگترین لکه (به دلیل کاهش گستره رویشگاه) در دوره زمانی پس از سال ۱۹۹۸، نشان دهنده تخریب این رویشگاه در سال های اخیر است. نتایج این پژوهش می تواند در ارزیابی آسیب پذیری این رویشگاه ها نسبت به پیامدهای حاصل از تغییر اقلیم استفاده شوند.

واژگان کلیدی: سیمای سرزمین، تغییر اقلیم، تصاویر ماهواره ای

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



۱. مقدمه

زیستگاه‌های مانگرو در خاورمیانه (با وسعتی در حدود ۱۹۲ کیلومتر مربع)، دارای اهمیت قابل توجهی در سطح بین الملل هستند (Safiyari, 2002). علی رغم این اهمیت، مانگروه‌های ایران در معرض طیفی از مخاطرات طبیعی و انسانی گوناگون مانند برداشت سرشاخه‌ها، گردشگری بدون برنامه، توسعه صنایع، ورود گونه‌های غیر بومی (موش سیاه)، توسعه آبی‌ری پروری، ورود فاضلاب شهری و صنعتی و آلودگی‌های نفتی، خشکسالی‌های پی‌در پی و کمبود شدید بارندگی سالانه قرار دارند (Mafi-Gholami et al., 2015). از میان این عوامل مخرب طبیعی و انسانی، وقوع خشکسالی‌های بلند مدت و کاهش شدید مقادیر بارندگی در سواحل جنوب ایران به عنوان یکی از مهمترین تنش‌ها و آشفتگی‌های موثر در ایجاد آسیب پذیری مانگروه‌های ایران معرفی شده است که سبب کاهش گستره، تاج پوشش و سطح سلامت این مانگروها در طول دهه‌های گذشته شده است (Mafi-Gholami et al., 2019, 2020). علی رغم وجود تأثیرات نامطلوب ناشی از وقوع خشکسالی بر گستره، توان تولیدی و سلامت مانگروه‌های ایران، تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تأثیر وقوع خشکسالی بر تغییرات یکپارچگی ساختاری (لکه لکه شدگی) این رویشگاه‌ها در دهه‌های گذشته انجام نشده است. این در حالی است که بررسی یکپارچگی ساختاری مانگروها در طول زمان و رابطه آن با عوامل محیطی گوناگون نقش مهمی در تهیه و اولویت بندی برنامه‌های مدیریتی حفاظت و احیای رویشگاه‌های مانگرو بر عهده دارد (Sahana et al., 2015)؛ چرا که یکپارچگی ساختاری مانگروها یکی از پیش نیازهای حیاتی برای حفاظت از تنوع زیستی و عملکردهای اکولوژیکی این رویشگاه‌ها است (Da Ponte et al., 2017). لذا هدف این مطالعه نیز بررسی تغییرات رخ داده در وضعیت یکپارچگی (تکه تکه شدگی) مانگروه‌های ذخیره گاه زیست کره حرای قشم در مواجهه با تغییرات مقادیر بارندگی و وقوع خشکسالی در طول یک دوره ۳۱ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۷) است. بدین منظور از سری زمانی ۳۱ ساله تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های بارندگی استفاده شد.

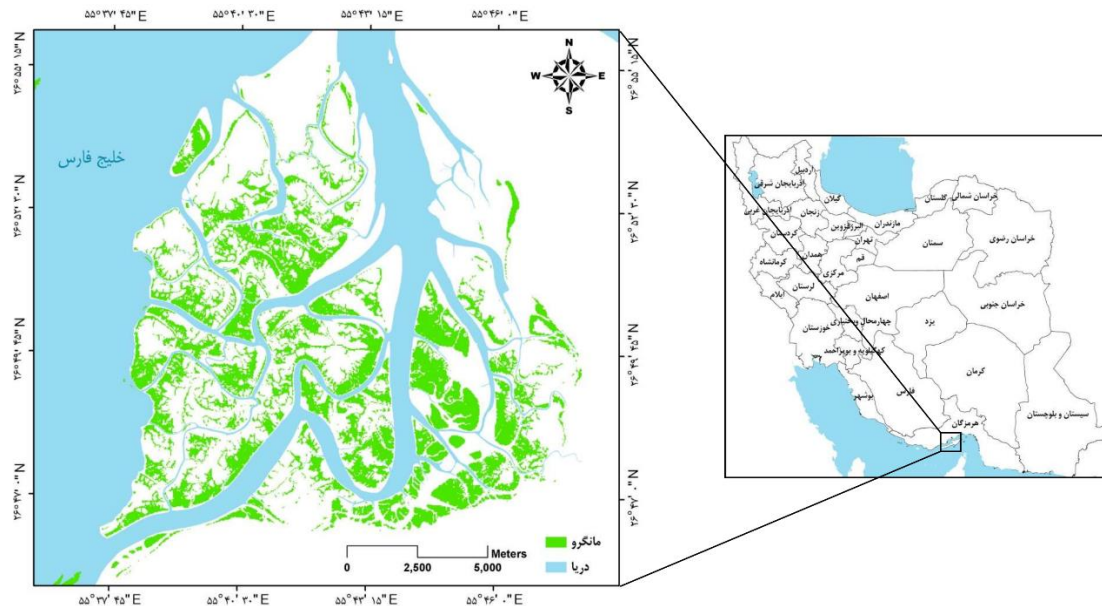
۲. مواد و روش‌ها

ذخیره‌گاه زیست کره حرا با موقعیت جغرافیایی ۲۶ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۲۶ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی و با وسعت ۸۵۶۸ هکتار، در حد فاصل اراضی ساحلی بخش بندر خمیر تا اراضی ساحلی دهستان‌های لافت و طبل در جزیره قشم قرار گرفته است (شکل ۱).

این منطقه اولین بار در سال ۱۳۵۱ با نام منطقه حفاظت شده حرا تحت حفاظت قرار گرفت و سپس در سال ۱۳۵۴ به لحاظ ویژگی‌های منحصر به فرد طبیعی ارتقاء سطح حفاظتی پیدا کرده

در میان عوامل اثرگذار گوناگون، پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم مانند تغییر وقوع خشکسالی، افزایش دمای هوا، افزایش غلظت دی اکسید کربن، بالا آمدن سطح آب دریا، طوفان‌ها و تغییر در الگوهای چرخشی آب اقیانوس‌ها تأثیر قابل توجهی بر رشد و توسعه مانگروها در سراسر جهان داشته‌اند (Gilman et al., 2008). به دلیل ارتباط نزدیکی که میان شرایط رویشگاهی مانگروها و وقوع بارندگی وجود دارد، هر گونه تغییر در الگوهای بارندگی تأثیر قابل توجهی بر رشد و پراکنش مکانی مانگروها خواهد داشت (Snedaker, 1995; Field, 1995; Ellison, 2015). بر اساس مطالعات انجام شده، کاهش بارندگی و وقوع خشکسالی از طریق افزایش تبخیر و ایجاد تنش شوری سبب کاهش تولید خالص اولیه، کاهش میزان رشد و زنده مانی نهال‌ها و تغییر رقابت میان گونه‌های مانگرو خواهد شد که در نهایت می‌تواند منجر به تغییرات ساختاری نامطلوب و افزایش آسیب پذیری مانگروها نسبت به سایر تنش‌های انسانی و طبیعی شود (Gilman et al., 2008; Eslami-Andargoli et al., 2019; Mafi-Gholami et al., 2009). از این رو با تجزیه و تحلیل تغییرات رخ داده در مانگروها و بررسی رابطه آن با وقوع خشکسالی می‌توان اطلاعات ارزشمندی را در مورد اثرات نامطلوب ناشی از تغییر اقلیم بر مانگروها ارائه داد. در این میان، بررسی تغییرات رخ داده در یکپارچگی یا روند تکه‌تکه‌شدگی مانگروها در بلند مدت در پاسخ به تغییرات اقلیمی می‌تواند سبب شناخت دقیق‌تر تغییرات ساختاری رخ داده در مانگروها و ارتباط آن با پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم گردد که نتیجه آن می‌تواند به عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری نقش مهمی در تهیه برنامه‌های سازگاری با تغییر اقلیم در این رویشگاه‌ها داشته باشد (Reddy et al., 2013). در واقع بررسی رابطه میان تغییرات رخ داده در یکپارچگی مانگروها و در طول زمان می‌تواند نقش مهمی در شناخت رویشگاه‌های حساس و آسیب‌پذیر داشته و کارایی و موفقیت برنامه‌های احیا و افزایش توان سازگاری و تاب‌آوری آن‌ها را نسبت به وقوع مخاطرات محیطی چندگانه در پی داشته باشد (Tran and Fischer, 2017; Hauser et al., 2017). این اساس مطالعات گوناگون جهت بررسی تغییرات یکپارچگی رویشگاه‌های مانگرو مناطق مختلف جهان انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعه انجام شده در زمینه پایش لکه لکه شدگی مانگروه‌های جنوب شرق آسیا (Reddy et al., 2018)، مانگروه‌های ویتنام (Tran and Fischer, 2017; Hauser et al., 2017)، ایالات متحده (Allgeier et al., 2010) و چین (Li et al., 2013) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تجزیه و تحلیل سنج‌های سیمای سرزمین اشاره نمود.

مانگروه‌های ایران در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان، به عنوان بخشی از شبکه جهانی و نیز یکی از مهمترین



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ذخیره گاه زیست کره حرا در سواحل استان هرمزگان

Fig. 1- Geographical location of mangrove biosphere reserve on the coast of Hormozgan province

(Gholami et al., 2019). لذا در این مطالعه بررسی رابطه میان وقوع خشکسالی و تغییرات یکپارچگی مانگروها با محاسبه مقادیر SPI سالانه انجام شد. بدین منظور از سری داده های ۳۱ ساله (۱۹۸۶ تا ۲۰۱۷) بارندگی ماهانه مربوط به ایستگاه سینوپتیک خمیر که در مجاورت ذخیره گاه زیست کره حرا قرار دارد، استفاده شد.

نخستین مرحله برای انجام تجزیه و تحلیل تصاویر، انجام تصحیح هندسی بر روی آن‌ها بود. بررسی دقت هندسی تصاویر ماهواره ای لندست ۸ در سال ۲۰۱۷ با استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ نشان داد که انطباق بسیار خوبی میان موقعیت عوارض و جاده ها در تصاویر ماهواره ای و نقشه توپوگرافی وجود دارد و تصاویر لندست ۸ از دقت هندسی بالایی برخوردار است و نیاز به انجام تصحیح هندسی بر روی این تصاویر نبود. سایر تصاویر مربوط به دوره ۳۱ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۷) نیز به شیوه تصویر به تصویر مورد تصحیح هندسی قرار گرفتند. تصحیحات رادیومتریک تصاویر نیز با استفاده از نرم افزار ENVI انجام گرفت. به طور کلی در میان روش‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال به عنوان یکی از کارآمدترین روش‌ها در استخراج پوشش گیاهی مانگروها از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی متوسط همانند تصاویر لندست است (Giri et al., 2007; Nguyen et al., 2013). پس از انجام تصحیحات هندسی و رادیومتریک بر روی تصاویر، با در اختیار داشتن نقشه تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و نیز تهیه نقشه ترکیب رنگی کاذب باندهای سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک، طبقه‌بندی حداکثر احتمال برای تمامی تصاویر انجام شد و نقشه پوشش منطقه در دو طبقه مانگرو و سایر نواحی، گستره مانگروها از تصاویر استخراج شد. بدین منظور برای انجام

عنوان پارک ملی را به خود اختصاص داد و به خاطر اهمیت منطقه مذکور در سطح بین المللی در سال ۱۹۷۵ میلادی تحت عنوان تالاب بین المللی به کنوانسیون رامسر و در سال ۱۹۷۶ میلادی به عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا به شبکه جهانی انسان و کره مسکون (Man and Biosphere) پیوست (Safiyari, 2002). جنگل‌های مانگرو این منطقه بیشترین وسعت جنگل‌های مانگرو ایران و حتی کشورهای حوزه خلیج فارس را شامل می‌شود و در برگیرنده ۸۵ درصد مساحت مانگروهای ایران است (Safiyari, 2002). میانگین طولانی مدت بارش سالانه در سطح منطقه در بر گیرنده ذخیره گاه در حدود ۱۴۶ میلی‌متر بوده و دمای متوسط سالانه آن ۲۷/۲ درجه سانتیگراد است.

مطالعات موجود نشان داده که مقادیر SPI با مقیاس‌های زمانی کوتاه (۱ تا ۳ ماهه) نشان دهنده تغییرات در رطوبت خاک است که در بخش کشاورزی دارای اهمیت بسیار است و مقادیر SPI با مقیاس‌های زمانی بلندتر (۶ ماهه، یکساله و بیشتر) نشان دهنده تغییرات بلند مدت در مقادیر بارندگی، آبهای جاری سطحی و زیر زمینی و ذخائر و منابع آبی یک منطقه است که در زمینه تاثیر تغییرات بارندگی بر اکوسیستم‌های طبیعی و مدیریت منابع آب در سکونتگاه‌های انسانی دارای اهمیت است (Wu et al., 2001; Mafi-Gholami et al., 2017, 2019). مطالعات موجود نشان داده که زنده مانی و توان مانگروها برای مقابله با شوری بالای آب وابسته به مقدار بارندگی و نیز حجم آبهای شیرین سطحی ورودی به این مناطق از حوزه‌های آبخیز بالادستی است (Field, 1995; Ellison, 2000) و تغییرات رخ داده در مقادیر بارندگی و حجم آب شیرین ورودی به محیط مانگروها به صورت سالانه سبب ایجاد تغییرات در مانگروها می‌گردد (Mafi-

سال ۱۹۹۸ (نقطه تغییر در روند وقوع خشکسالی در سواحل جنوب ایران (Mafi-Gholami et al., 2017, 2019)) تجزیه و تحلیل گردید.

۳. نتایج

همانطور که بیان شد با استفاده از مقادیر بارندگی ماهانه، سری زمانی ۳۱ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۷) مقادیر SPI سالانه مربوط به ایستگاه سینوپتیک خمیر محاسبه گردید. همانطور که نتایج نشان می دهد از سال ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۸ بر میزان مقادیر SPI افزوده شده است (مقادیر مثبت SPI و وقوع دوره ترسالی) و سپس در طول دوره ۱۹ ساله پس از سال ۱۹۹۸، از مقدار SPI کاسته شده و به طور پیوسته دارای مقادیر منفی است (دوره خشکسالی) (شکل ۲).

ارزیابی دقت تصاویر طبقه‌بندی شده نشان داد که دقت کلی تمامی طبقه‌بندی‌های انجام شده بیشتر از ۹۲٪ بود. همانطور که جدول (۱) نشان می‌دهد مقدار دقت کاربر و دقت تولید کننده برای تمامی طبقه‌بندی‌های انجام شده بر روی تصاویر بیشتر از ۸۰ بودند که نشان‌دهنده دقت بالای طبقه‌بندی انجام شده برای نقشه‌سازی گستره مانگروها بود. در واقع این نتایج نشان می‌دهد که تصاویر لندست از دقت قابل توجهی برای بررسی تغییرات وسعت مانگروها در طول زمان برخوردار هستند.

نقشه سازی مانگروها در ذخیره گاه زیست کره حرا در طول دوره ۳۱ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۷) نشان داد که بخش های مختلف ذخیره گاه دارای تغییرات زمانی و مکانی گوناگونی بوده اند (شکل های ۳ و ۴). بر این اساس که در طول دوره ۱۲ ساله پیش از ۱۹۹۸ (دوره ترسالی) بخش های مختلف ذخیره گاه دارای پیشروی و افزایش وسعت لکه ها در گستره های مختلف بوده اند (شکل ۳). در مقابل، در دوره ۱۹ ساله پس از سال ۱۹۹۸ (دوره وقوع خشکسالی)، به دلیل کاهش مقادیر بارندگی، مانگروه‌های ذخیره گاه دچار کاهش وسعت (بویژه از حاشیه های لکه های بزرگ) بوده اند (شکل ۴).

صحت‌سنجی نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر سال ۲۰۱۷، تعداد ۴۸ نمونه زمینی با ابعاد ۳۰×۳۰ متر (۹۰۰ متر مربع) در سال ۱۳۹۶ از سطح و نیز مرزهای رو به دریا و رو به خشکی مانگروها برداشت شد. همچنین، برای صحت‌سنجی نقشه‌های حاصل از تصاویر مربوط به دیگر سال‌های دوره زمانی، از عکس‌های هوایی و تصاویر کوئیک برد مربوط به سال‌های ۱۳۷۲ و ۱۳۸۵ استفاده شد. در این مطالعه، روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده برای صحت‌سنجی نقشه‌های نهایی مورد استفاده قرار گرفت و دقت کاربر، دقت تولیدکننده، دقت کلی و ضریب کاپا برای نقشه‌های پوشش گیاهی مانگرو محاسبه شد (Nguyen et al., 2013). پس از تهیه سری زمانی ۳۱ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۷) نقشه مانگروه‌های ذخیره گاه زیست کره حرا، تغییرات رخ داده در یکپارچگی یا تکه‌تکه‌شدگی این رویشگاه‌ها با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین و در نرم‌افزار Fragstats انجام گرفت. بدین منظور، تمامی نقشه‌های طبقه‌بندی شده مربوط ذخیره گاه ضمن تبدیل شدن به فرمت مناسب، وارد نرم‌افزار Fragstats شدند. به منظور بررسی تغییرات یکپارچگی یا تکه‌تکه‌شدگی الگوهای چشم-اندازی مناطق گوناگون، طیفی از سنجه‌های مختلفی توسعه داده شده است که با امکان پیکربندی فضایی یک چشم‌انداز، نقش مهمی در تجزیه و تحلیل تکه تکه شدن یا ایجاد یکپارچگی بر عهده دارند (Tran and Fischer, 2017; Hauser et al., 2017; Li et al., 2013). در این مطالعه با بررسی گسترده مطالعات انجام شده در زمینه تغییرات یکپارچگی رویشگاه‌های جنگلی، بویژه مانگروها، دو سنجه تعداد لکه (NP) و نمایه بزرگترین لکه (LPI) در سطح چشم‌انداز که به بهترین نحو نشان دهنده تغییرات رخ داده در میزان تکه‌تکه‌شدگی این اکوسیستم‌ها هستند، برای بررسی تغییرات زمانی و زمانی رخ داده در یکپارچگی مانگروه‌های ذخیره گاه زیست کره حرا در مواجهه با وقوع خشکسالی های بلند مدت انتخاب شدند (Tran and Fischer, 2017; Hauser et al., 2017; Jaafari et al., 2016; Ojoiy et al., 2016; Sakieh et al., 2015; Li et al., 2013). در نهایت، تغییرات مقادیر سنجه ها در دوره های زمانی قبل و بعد از



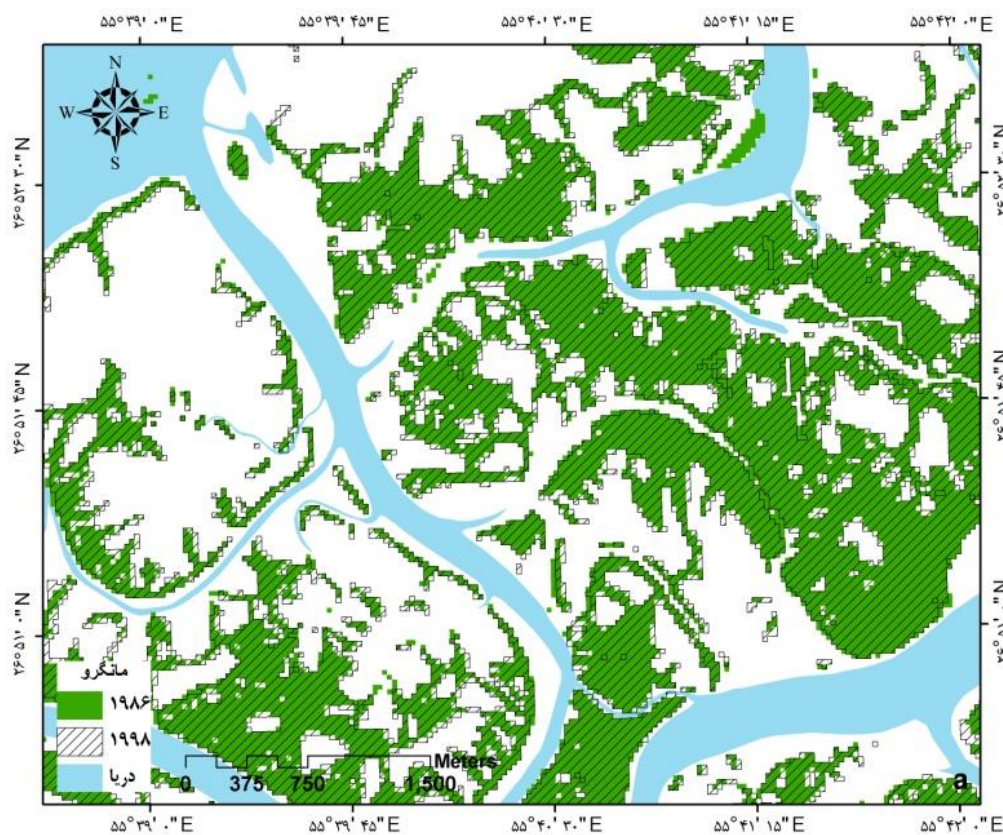
شکل ۲- تغییرات مقادیر SPI سالانه در طول دوره ۳۱ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۷) در ایستگاه سینوپتیک خمیر

Fig. 2- Variations of annual SPI values during the 31-year period (1986-2017) at Khmer synoptic station.

جدول ۱- نتایج صحت سنجی نقشه های طبقه بندی شده از تصاویر لندست

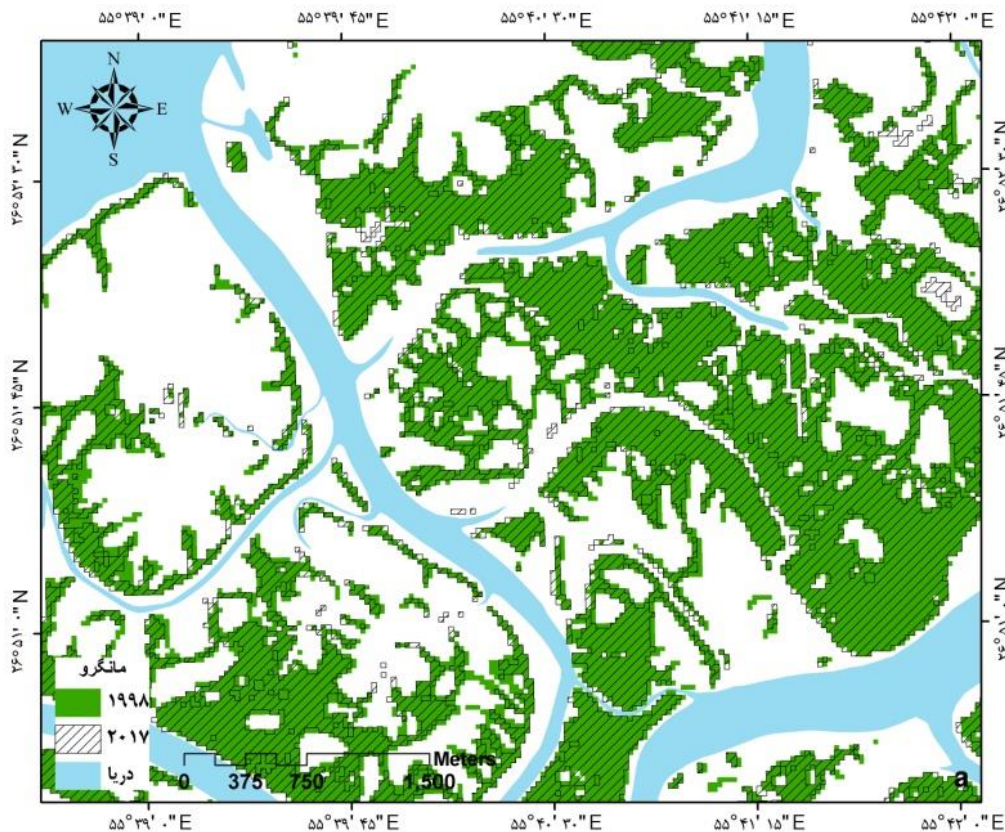
Table 1- Validation results of classified maps from Landsat images

ضریب کاپا	دقت کلی	تولید کننده (درصد)	کاربر (درصد)	دقت نقشه طبقه بندی شده
0.87	92	90	81.8	1994
0.86	93.6	98.8	85	2007
0.83	92	98.8	81	2017



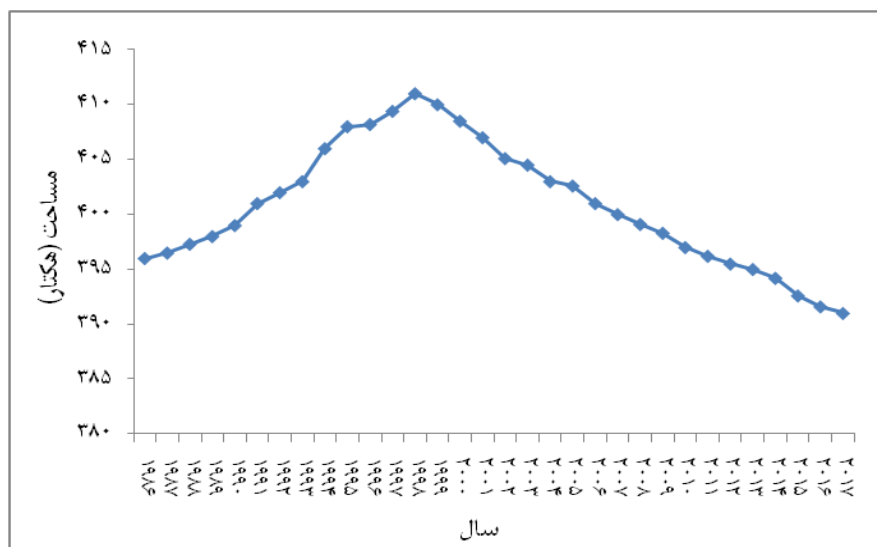
شکل ۳- تغییرات ساختاری (لکه ها) مانگروهای ذخیره گاه زیست کره حرا در دو مقطع زمانی ۱۹۸۶ و ۱۹۹۸

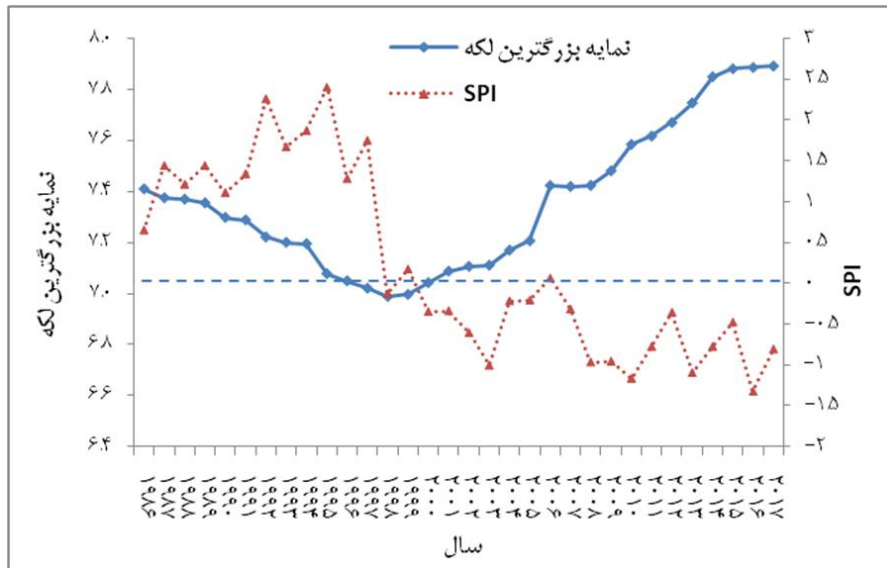
Fig. 3- Structural changes (spots) of the mangroves of the mangrove reserve in two time periods, 1986 and 1998.



شکل ۴- تغییرات ساختاری (لکه ها) مانگروهای ذخیره گاه زیست کره حرا در دو مقطع زمانی ۱۹۹۸ و ۲۰۱۷

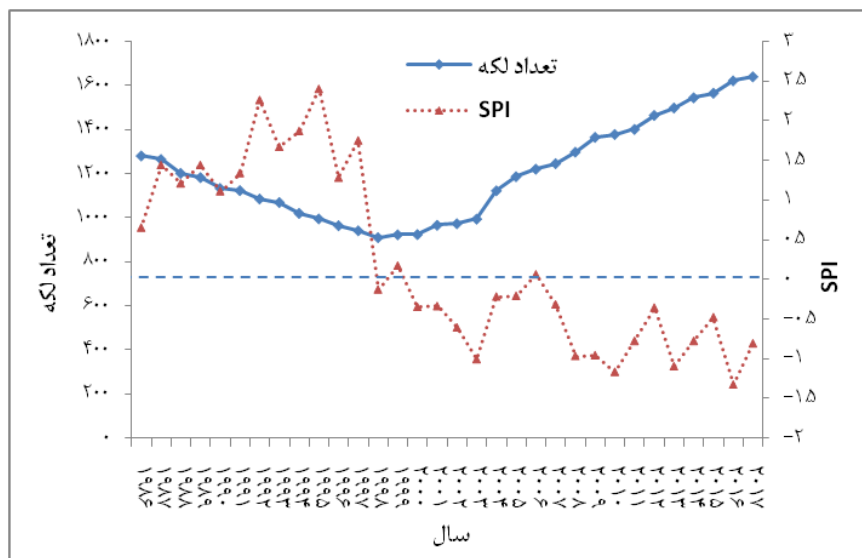
Fig. 4- Structural changes (spots) of the mangroves of the mangrove reserve in two periods of time, 1998 and 2017.





شکل ۶- مقایسه روند تغییرات مقادیر نمایه بزرگترین لکه و SPI ذخیره گاه زیست کره حرا در طول دوره ۳۱ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۷)

Comparison of the trend of changes in the values of the largest spot index and SPI of the - 6.Fig mangrove biosphere reserve during the 31-year period (1986-2017).



شکل ۷- مقایسه روند تغییرات مقادیر تعداد لکه و SPI در طول دوره ۳۱ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۷)

Fig.7- Comparison of the changes in the number of spots and SPI during the 31-year period (1986-2017).

نمایه بزرگترین لکه در طول دوره ۳۱ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۷) بر خلاف روند تغییرات وسعت بزرگترین لکه بوده است (شکل های ۶ و ۷). بر این اساس که مقدار نمایه بزرگترین لکه از سال ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۸ (دوره ترسالی) به تدریج کاهش یافته است و سپس تا پایان دوره ۳۱ ساله (دوره وقوع خشکسالی) بر مقدار آن افزوده شده است (شکل ۶).

تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده نشان داد که مقادیر سنجه های NP و LPI در ذخیره گاه زیست کره حرا در طول دوره ۳۱ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۷) با نواسانی همراه بوده است. بر این اساس که تغییرات وسعت بزرگترین لکه در ذخیره گاه زیست کره حرا نشان داد که در دوره زمانی پیش از سال ۱۹۹۸ (دوره ترسالی) بر وسعت آن افزوده شده است و سپس تا پایان دوره ۳۱ ساله از مقدار آن به تدریج کاسته شده است (شکل ۵). نتایج نشان داد که روند تغییرات

لکه‌ها افزوده شده است (افزایش قطعه قطعه شدن لکه‌های رویشی بزرگ) در دوره زمانی پس از سال ۱۹۹۸، بر مقدار نمایه بزرگترین لکه در این رویشگاه افزوده شده است. با توجه به اینکه مقدار نمایه بزرگترین لکه از نسبت میان وسعت بزرگترین لکه بر مجموع وسعت رویشگاه بدست می‌آید، بنابراین، افزایش مقدار نمایه بزرگترین لکه ناشی از کاهش گستره مجموع رویشگاه در دوره وقوع خشکسالی‌های بلند مدت در دوره زمانی پس از سال ۱۹۹۸ است. بر اساس اصول بوم‌شناسی چشم‌انداز، افزایش تعداد لکه‌ها به همراه کاهش وسعت لکه‌های بزرگ و مجموع وسعت یک اکوسیستم در طول زمان بیانگر وقوع تخریب در آن است (Riitters et al., 2002) و کاهش وسعت و افزایش تعداد لکه‌ها در ذخیره گاه زیست کره حرا نیز نشان دهنده تخریب این رویشگاه در دوره وقوع خشکسالی‌های بلند مدت سالیان اخیر است. البته این نتایج چندان دور از انتظار نبود؛ چنانکه سایر دانشمندان جهان نیز در تحقیقات مشابه خود بیان نموده‌اند که به دلیل وجود همبستگی بسیار زیاد بین شرایط رویشگاهی مانگروه‌ها و الگوی بارندگی در طی زمان، هر گونه تغییر در مقادیر بارندگی و جریان‌ات آبی سطحی و وقوع خشکسالی می‌تواند از طریق تغییر نامطلوب در مقدار مواد غذایی، میزان شوری آب و رسوبات ورودی به بستر مانگروه‌ها سبب کاهش توان رویشی و افت ساختاری مانگروه‌ها شود (Snedaker, 1995; Field, 1995; Ellison, 2000).

مطالعات موجود نشان داده که فعالیت‌های مختلف انسانی همانند تغییرات کاربری/پوشش اراضی، تهیه چوب سوختی و نیز مصالح ساختمانی، توسعه آبروی‌پروری نقش موثری در تغییرات ساختاری مانگروه‌ها دارند (Tran and Fischer, 2017; Hauser et al., 2017). در واقع تغییرات رخ داده در کاربری/پوشش اراضی حوزه‌های آبریز بالادستی مانگروه‌ها از طریق ایجاد تغییرات نامطلوب در مقدار و زمان بندی آب شیرین ورودی به سواحل سبب تخریب ساختاری (افزایش لکه‌لکه‌شدگی) و توان تولیدی مانگروه‌ها می‌شود (Eslami-Andargoli et al., 2009; Li et al., 2013). مطالعات آینده می‌تواند نتایج فعالیت‌های انسانی ذکر شده بر ذخیره گاه زیست کره حرا را در بلند مدت مورد بررسی قرار دهند. همچنین، علاوه بر عوامل انسانی ذکر شده، عوامل محیطی دیگری مانند ویژگی‌های ژئومورفولوژیک محلی و دینامیک‌های هیدرولوژیک آب سطحی و نیز تغییرات مقادیر رسوب‌گذاری ساحلی نیز بر تغییرات ساختاری مانگروه‌های واقع در ذخیره گاه زیست کره حرا اثرگذار هستند (Eslami-Andargoli et al., 2009). لذا، بررسی تاثیر هر یک از عوامل ذکر شده در وقوع تخریب در ذخیره گاه زیست کره حرا نیز می‌تواند در مطالعات تکمیلی آینده مورد بررسی قرار گیرد.

در نهایت می‌توان گفت که در این مطالعه برای اولین بار در کشور اقدام به بررسی همزمان روند تکه‌تکه‌شدگی مانگروه‌های ذخیره گاه زیست کره حرا و تغییرات روند وقوع خشکسالی در سواحل جنوب ایران شد. نتایج حاصل از این مطالعه توانسته است اطلاعات ضروری برای آسیب‌پذیری مانگروه‌های ذخیره گاه زیست

نتایج نشان داد که تعداد لکه‌ها (NP) در دوره زمانی ۱۲ ساله (۱۹۸۶-۱۹۹۸) کاهش یافته است؛ به طوری که تعداد لکه‌های ذخیره گاه در سال ۱۹۸۶ و ۱۹۹۸ به ترتیب ۱۲۸۱ و ۹۱۱ عدد بوده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، تعداد لکه‌های ذخیره گاه در دوره زمانی پس از سال ۱۹۹۸ (دوره وقوع خشکسالی) افزایش یافته است به نحوی که در پایان دوره ۳۱ ساله (سال ۲۰۱۷) به تعداد ۱۶۳۹ رسیده است (شکل ۷).

۴. بحث و نتیجه‌گیری

به طور کلی، تجزیه و تحلیل تغییرات ایجاد شده در ساختار و گستره مانگروه‌ها نسبت به مخاطرات گوناگون به عنوان بخشی از مدیریت یکپارچه زون ساحلی، به عنوان پیش‌نیازی برای تهیه برنامه‌های سازگاری با تغییر اقلیم نقش مهمی در اولویت بندی تهدیدات موجود و نیز رفع نیازمندیهای مدیریتی، سازمانی و قانونی دارد (Gilman, 2007; Hauser et al., 2017). لذا در این مطالعه تاثیر وقوع خشکسالی بر تغییرات ساختاری (تعداد لکه و نمایه بزرگترین لکه) مانگروه‌های ذخیره گاه زیست کره حرا بررسی شد. بررسی تعداد لکه‌ها و وسعت بزرگترین لکه در در ذخیره گاه زیست کره حرا در طول دوره زمانی ۳۱ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۷) نشان داد که در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۸ (دوره ترسالی)، ضمن کاهش تعداد لکه‌های ذخیره گاه، بر وسعت بزرگترین لکه آن نیز افزوده شده است. این افزایش وسعت بزرگترین لکه در ذخیره گاه زیست کره حرا همراه با کاهش تعداد لکه‌ها نشان دهنده افزایش میزان یکپارچگی ذخیره گاه از طریق افزایش وسعت هسته‌های اصلی و لکه‌های رویشی بزرگ این رویشگاه در دوره زمانی پیش از سال ۱۹۹۸ (دوره ترسالی) بوده است که می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر پراکنش و تنوع بالاتر گونه‌های جانوری وابسته به مانگروه‌ها داشته باشد (Wu, 2001; Li et al., 2013) و در مقابل، افزایش تعداد لکه‌ها، کاهش وسعت لکه‌های بزرگ و نیز وجود فواصل میان لکه‌های رویشگاه‌ها سبب برهم خوردن تبادلات بیولوژیکی و سطح تنوع زیستی در سطح زیستگاه و نیز کاهش جریان ژنی میان زیر جمعیت‌های موجود در لکه‌ها می‌شود (Uezu et al., 2005; Li et al., 2013)؛ چنانچه وقوع این تغییرات در مانگروه‌های ذخیره گاه در دوره وقوع خشکسالی پس از سال ۱۹۹۸ قابل مشاهده است. ذکر این نکته ضروری است که روند کاهش مقادیر نمایه بزرگترین لکه در دوره زمانی پیش از سال ۱۹۹۸ به دلیل نرخ بالاتر افزایش وسعت مجموع رویشگاه نسبت به وسعت بزرگترین لکه رویشگاهی است که سبب نزولی بودن روند تغییرات نمایه بزرگترین لکه در طول این دوره زمانی شده است (Hauser et al., 2017).

مطالعه انجام شده توسط Mafi-Gholami و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که در دوره وقوع خشکسالی بلند مدت پس از سال ۱۹۹۸ از وسعت مانگروه‌های ذخیره گاه زیست کره حرا کاسته شده است. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که در کنار افزایش تعداد

اثرات وقوع خشکسالی بر سایر رویشگاه های مانگرو ایران مورد استفاده سایر محققین قرار گیرد.

کره حرا را نسبت به تغییرات اقلیمی آینده فراهم آورد. روش تحلیلی بکار رفته در این مطالعه می تواند به عنوان مبنایی برای بررسی

References:

- Allgeier, J.E., Rosemond, A.D., Mehring, A.S. and Layman, C.A., 2010. Synergistic nutrient colimitation across a gradient of ecosystem fragmentation in subtropical mangrove-dominated wetlands. *Limnology and Oceanography*, 55(6), pp.2660-2668. DOI: 10.4319/lo.2010.55.6.2660
- Da Ponte, E., Roch, M., Leinenkugel, P., Dech, S. and Kuenzer, C., 2017. Paraguay's Atlantic Forest cover loss—Satellite-based change detection and fragmentation analysis between 2003 and 2013. *Applied Geography*, 79, pp.37-49. DOI: 10.1016/j.apgeog.2016.12.005
- Ellison, J.C., 2015. Vulnerability assessment of mangroves to climate change and sea-level rise impacts. *Wetlands Ecology and Management*, 23, pp.115-137. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11273-014-9397-8>
- Ellison, J.C., 2000. How South Pacific mangroves may respond to predicted climate change and sea-level rise. *Climate change in the South Pacific: impacts and responses in Australia, New Zealand, and small island states*, pp.289-300. DOI: 10.1007/0-306-47981-8_16
- Eslami-Andargoli, L., Dale, P.E.R., Sipe, N. and Chaseling, J., 2009. Mangrove expansion and rainfall patterns in Moreton Bay, southeast Queensland, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 85(2), pp.292-298. DOI: 10.1016/j.ecss.2009.08.011
- Field, C.D., 1995. Impact of expected climate change on mangroves. In *Asia-Pacific Symposium on Mangrove Ecosystems: Proceedings of the International Conference held at The Hong Kong University of Science & Technology, September 1–3, 1993* (pp. 75-81). Springer Netherlands. DOI: 10.1007/978-94-011-0289-6_10
- Gilman, E., Ellison, J. and Coleman, R., 2007. Assessment of mangrove response to projected relative sea-level rise and recent historical reconstruction of shoreline position. *Environmental monitoring and assessment*, 124, pp.105-130. DOI: 10.1007/s10661-006-9212-y
- Gilman, E.L., Ellison, J., Duke, N.C. and Field, C., 2008. Threats to mangroves from climate change and adaptation options: a review. *Aquatic botany*, 89(2), pp.237-250. DOI: 10.1016/j.aquabot.2007.12.009
- Giri, C., Pengra, B., Zhu, Z., Singh, A. and Tieszen, L.L., 2007. Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000. *Estuarine, coastal and shelf science*, 73(1-2), pp.91-100. DOI: 10.1016/j.ecss.2006.12.019
- Hauser, L.T., Vu, G.N., Nguyen, B.A., Dade, E., Nguyen, H.M., Nguyen, T.T.Q., Le, T.Q., Vu, L.H., Tong, A.T.H. and Pham, H.V., 2017. Uncovering the spatio-temporal dynamics of land cover change and fragmentation of mangroves in the Ca Mau peninsula, Vietnam using multi-temporal SPOT satellite imagery (2004–2013). *Applied Geography*, 86, pp.197-207. DOI: 10.1016/j.apgeog.2017.06.019
- Jaafari, S., Sakieh, Y., Shabani, A.A., Danehkar, A. and Nazarisamani, A.A., 2016. Landscape change assessment of reservation areas using remote sensing and landscape metrics (case study: Jajroud reservation, Iran). *Environment, development and sustainability*, 18, pp.1701-1717. DOI: 10.1007/s10668-015-9712-4
- Li, M.S., Mao, L.J., Shen, W.J., Liu, S.Q. and Wei, A.S., 2013. Change and fragmentation trends of Zhanjiang mangrove forests in southern China using multi-temporal Landsat imagery (1977–2010). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130, pp.111-120. DOI: 10.1016/j.ecss.2013.03.023
- Mafi-Gholami, D., Fegghi, J., Danehkar, A. and Yarali, N., 2015. Prioritizing stresses and disturbances affecting mangrove forests using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). Case study: mangrove forests of Hormozgan Province, Iran. *Advances in Environmental Sciences*, 7(3), pp.442-459. DOI:
- Mafi-Gholami, D., Mahmoudi, B., and Zenner, E. K., 2017. An analysis of the relationship between drought events and mangrove changes along the northern coasts of the Persian Gulf and Oman Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 141-151. DOI: 10.1016/j.ecss.2017.10.008
- Mafi-Gholami, D., Zenner, E.K. and Jaafari, A., 2020. Mangrove regional feedback to sea

- level rise and drought intensity at the end of the 21st century. *Ecological Indicators*, 110, p.105972. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105972
- Mafi-Gholami, D., Zenner, E.K., Jaafari, A. and Ward, R.D., 2019. Modeling multi-decadal mangrove leaf area index in response to drought along the semi-arid southern coasts of Iran. *Science of the Total Environment*, 656, pp.1326-1336. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.462
- Nguyen, H.H., McAlpine, C., Pullar, D., Johansen, K. and Duke, N.C., 2013. The relationship of spatial-temporal changes in fringe mangrove extent and adjacent land-use: Case study of Kien Giang coast, Vietnam. *Ocean & coastal management*, 76, pp.12-22. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2013.01.003
- Ojoyi, M.M., Odindi, J., Mutanga, O. and Abdel-Rahman, E.M., 2016. Analysing fragmentation in vulnerable biodiversity hotspots in Tanzania from 1975 to 2012 using remote sensing and fragstats. *Nature Conservation*, 16, pp.19-37. DOI: 10.3897/natureconservation.16.9312
- Reddy, C.S., Jha, C.S. and Dadhwal, V.K., 2013. Assessment and monitoring of long-term forest cover changes in Odisha, India using remote sensing and GIS. *Environmental monitoring and assessment*, 185, pp.4399-4415. DOI: 10.1007/s10661-012-2877-5
- Reddy, C.S., Saranya, K.R.L., Pasha, S.V., Satish, K.V., Jha, C.S., Diwakar, P.G., Dadhwal, V.K., Rao, P.V.N. and Murthy, Y.K., 2018. Assessment and monitoring of deforestation and forest fragmentation in South Asia since the 1930s. *Global and Planetary Change*, 161, pp.132-148. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2017.10.007
- Riitters, K.H., Wickham, J.D., O'Neill, R.V., Jones, K.B., Smith, E.R., Coulston, J.W., Wade, T.G. and Smith, J.H., 2002. Fragmentation of continental United States forests. *Ecosystems*, 5, pp.0815-0822. DOI: 10.1007/s10021-002-0209-2
- Safiyari, Sh. (2002). Mangrove Forests (Part Two) - Mangrove Forests of Iran. Tehran: Forest Research Institute Publications, 345 p.
- Sahana, M., Sajjad, H. and Ahmed, R., 2015. Assessing spatio-temporal health of forest cover using forest canopy density model and forest fragmentation approach in Sundarban reserve forest, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1, pp.1-10. DOI: 10.1007/s40808-015-0043-0
- Sakieh, Y., Salmanmahiny, A., Jafarnezhad, J., Mehri, A., Kamyab, H. and Galdavi, S., 2015. Evaluating the strategy of decentralized urban land-use planning in a developing region. *Land use policy*, 48, pp.534-551. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.07.004
- Snedaker, S.C., 1995. Mangroves and climate change in the Florida and Caribbean region: scenarios and hypotheses. *Hydrobiologia*, 295, pp.43-49. DOI: 10.1007/BF00029109
- Surati Jaya, I.N., Kusmana, C. and Murti Laksono, K., 2014. Analysis of Tropical Forest Landscape Fragmentation in Batang Toru Watershed, North Sumatra. *Journal of Tropical Forest Management/Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 20(2). DOI: 10.7226/jtfm.19.2.77
- Tran, L.X. and Fischer, A., 2017. Spatiotemporal changes and fragmentation of mangroves and its effects on fish diversity in Ca Mau Province (Vietnam). *Journal of Coastal Conservation*, 21, pp.355-368. DOI: 10.1007/s11852-017-0513-9
- Uezu, A., Metzger, J.P. and Vielliard, J.M., 2005. Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species. *Biological conservation*, 123(4), pp.507-519. DOI: 10.1016/j.biocon.2005.01.001
- Wu, H., Hayes, M.J., Weiss, A. and Hu, Q.I., 2001. An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-Score. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(6), pp.745-758. DOI: 10.1002/joc.658
- Xin, K., Huang, X., Hu, J., Li, C., Yang, X. and Arndt, S.K., 2014. Land use change impacts on heavy metal sedimentation in mangrove wetlands—a case study in Dongzhai Harbor of Hainan, China. *Wetlands*, 34, pp.1-8. DOI: 10.1007/s13157-013-0472-3.