Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics
Print ISSN: 2345-427X
Online ISSN: 2345-4288

انجمن علمی ماهیان زینتی ایران
Iranian Ornamental Fish Society (IOFS)

(OPEN ACCESS)

The Impact of ENSO Phenomena on Sustainable Agricultural Development in the Aquaculture Sector

Mohsen Barkhordar[*1], Seyd Fazel Fazeli Kakhki[2], Ashkan Zargari[3]

1. Corresponding Author, Assistant Prof. of Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran. E-mail: mohsen.barkhordar@gmail.com
2. Associate Prof. of Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran. E-mail: sf_fazeli@yahoo.com
3. Dept. of Aquaculture, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: ash.zargari@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 08.17.2025
Revised: 09.06.2025
Accepted: 10.17.2025

Keywords:
Atmospheric-oceanic,
El Nino,
Eutrophication,
La Nina,
Sustainable aquaculture

ABSTRACT

Background and Objectives: The El Niño-Southern Oscillation (ENSO), the primary ocean-atmosphere fluctuation in the Pacific Ocean, consists of two phases: El Niño (warm phase) and La Niña (cold phase). These phases, particularly when intense, can exert significant impacts on various economic and environmental sectors. From an aquaculture perspective, understanding the consequences of ENSO is critical, as climate variability associated with it directly affects aquatic production, animal health and the overall sustainability of the aquaculture industry.

Materials and Methods: Data were collected through a literature search in scientific databases including Magiran, SID, Google Scholar, Science Direct, Elsevier and CABI using the keywords: ENSO, El Niño, La Niña, Climate change and Sustainable aquaculture.

Results: El Niño is associated with increased sea surface temperatures and altered precipitation patterns, which may lead to reduced dissolved oxygen and salinity changes. Such conditions can impose stress on cultured species and even result in mortality. Moreover, this phenomenon can increase disease outbreaks; for example, elevated water temperatures can accelerate the growth and reproduction of pathogens while weakening the immune system of aquatic organisms. El Niño may also affect the production of plankton and other natural food sources on which some cultured species depend. In contrast, La Niña, characterized by cooler sea surface temperatures and shifts in trade winds, can also pose challenges and opportunities for advancing aquaculture knowledge and practices. Changes in current patterns and upwelling can influence nutrient distribution and food availability for certain species, while storms and heavier rainfall in some regions may damage aquaculture infrastructure and impair water quality.

Conclusion: Overall, ENSO fluctuations-both El Niño and La Niña phases-can create substantial uncertainties for planning and operations

in the aquaculture sector. Therefore, precise monitoring and the implementation of adaptive strategies, including the selection of resilient species, optimized farm management and the development of early warning systems, are essential to mitigate negative impacts and ensure the sustainability of aquaculture under ENSO-related climate variability.

Cite this article: Barkhordar, Mohsen, Fazeli Kakhki, Seyd Fazel, Zargari, Ashkan. 2026. The Impact of ENSO Phenomena on Sustainable Agricultural Development in the Aquaculture Sector. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 15 (1), 35-59.

© The Author(s).
Doi: 10.22069/japu.2025.23980.1973
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان
شاپا چاپی: ۲۳٤٥-٤۲۷X
شاپا آنلاین: ۲۳٤٥-٤۲۸۸

تأثیر پدیده‌های انسو (ENSO) بر توسعه پایدار کشاورزی در بخش آبزی‌پروری

محسن برخوردار*[۱]، سید فاضل فاضلی کاخکی[۲]، اشکان زرگری[۳]

۱. نویسنده مسئول، استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. رایانامه: mohsen.barkhordar@gmail.com
۲. دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. رایانامه: sf_fazeli@yahoo.com
۳. گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: ash.zargari@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۰٥/۲٦
تاریخ ویرایش: ۱٤۰٤/۰٦/۱٥
تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۰۷/۲٥

واژه‌های کلیدی:
آبزی‌پروری پایدار،
ال‌نینو،
جوی- اقیانوسی،
لانینا،
یوتریفیکاسیون

چکیده

سابقه و هدف: پدیده انسو (ENSO)، نوسان اصلی جوی- اقیانوسی در اقیانوس آرام، از دو فاز ال‌نینو (فاز گرم) و لانینا (فاز سرد) تشکیل شده است. این دو فاز، به ویژه در شدت‌های بالا، می‌توانند تأثیرات چشمگیری بر بخش‌های اقتصادی و زیست‌محیطی مختلف داشته باشند. از دیدگاه آبزی‌پروری، درک پیامدهای ENSO بسیار حیاتی است، زیرا تغییرات اقلیمی ناشی از آن به‌طور مستقیم بر تولید آبزیان، سلامت آبزیان و پایداری کلی صنعت آبزی‌پروری تأثیر می‌گذارد.

مواد و روش‌ها: داده‌های مورد استفاده حاصل از جستجو در پایگاه‌های علمی مگیران، SID، Google Scholar، Science Direct، Elsevier، CABI با استفاده از واژگان کلیدی ENSO، El Nino، La Nina، Climate change و Sustainable agriculture انجام شد.

یافته‌ها: ال‌نینو با افزایش دمای سطح دریا و تغییر الگوهای بارشی همراه است و می‌تواند منجر به کاهش اکسیژن محلول و تغییرات شوری شود. این شرایط می‌تواند برای گونه‌های آبزی پرورشی استرس‌زا باشد و حتی به مرگ‌ومیر آن‌ها منجر شود. به علاوه این پدیده می‌تواند منجر به افزایش شیوع بیماری‌ها گردد. برای مثال، دمای بالاتر آب می‌تواند رشد و تکثیر عوامل بیماری‌زا را تسریع کند و سیستم ایمنی آبزیان را تضعیف نماید. هم‌چنین ال‌نینو می‌تواند بر تولید پلانکتون‌ها و سایر منابع غذایی طبیعی که برخی از گونه‌های پرورشی به آن‌ها وابسته هستند، تأثیر بگذارد. در مقابل، لانینا که با کاهش دمای سطح دریا و تغییرات در بادهای تجاری مشخص می‌شود، نیز می‌تواند چالش‌ها و فرصت‌هایی را برای گسترش دانش و فنون آبزی‌پروری به همراه داشته باشد. تغییرات در الگوهای جریان و بالا آمدن آب می‌تواند بر توزیع مواد مغذی

و در دسترس بودن منابع غذایی برای برخی گونه‌ها تأثیر بگذارد. از طرف دیگر، طوفان‌ها و بارندگی‌های شدیدتر در برخی مناطق می‌توانند به زیرساخت‌های مزارع پرورشی آسیب رسانده و کیفیت آب را مختل کنند.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، نوسانات ENSO، چه در فاز گرم ال‌نینو و چه در فاز سرد لانینا، می‌توانند عدم قطعیت‌های قابل توجهی را برای برنامه‌ریزی و عملیات در صنعت آبزی‌پروری ایجاد کنند. بنابراین، پایش دقیق و به‌کارگیری استراتژی‌های سازگاری، از جمله انتخاب گونه‌های مقاوم، مدیریت بهینه مزارع و توسعه سیستم‌های هشدار اولیه، برای کاهش اثرات منفی و تضمین پایداری این صنعت در مواجهه با تغییرات اقلیمی ناشی از ENSO ضروری است.

استناد: برخوردار، محسن، فاضلی کاخکی، سید فاضل، زرگری، اشکان (۱۴۰۵). تأثیر پدیده‌های انسو (ENSO) بر توسعه پایدار کشاورزی در بخش آبزی‌پروری. *نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان*، ۱۵ (۱)، ۵۹-۳۵.
Doi: 10.22069/japu.2025.23980.1973

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

در سال‌های اخیر، تغییرات در رویدادهای جوی پیامدهای اقتصادی و اجتماعی قابل‌توجهی به دنبال داشته و در مواردی حتی به محیط‌های طبیعی آسیب‌های جدی وارد کرده است. این عدم تعادل در طبیعت، ارتباط دیرینه میان انسان، زمین و آب را برهم زده و در نتیجه، بقای برخی از اجزای اکوسیستم طبیعی را محدود ساخته است. از منظر آبزی‌پروری، که به شدت به سلامت و پایداری منابع آبی وابسته است (۱ و ۲). درک و تحلیل این تغییرات و پیامدهای آن‌ها حیاتی است. بارش و دما از مهم‌ترین پارامترهای جوی محسوب می‌شوند و بررسی نوسانات آن‌ها برای تعدیل خسارات و اجرای راهکارهای سازگاری در بخش آبزی‌پروری اهمیت ویژه‌ای دارد (۳). ناهنجاری‌ها در دما و بارش می‌توانند منجر به بروز مخاطرات اقلیمی مانند خشکسالی، سیل و کاهش منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی شوند. این مخاطرات به‌طور مستقیم بر کیفیت و کمیت آب موجود برای مزارع آبزی‌پروری و در نتیجه بر تولید و سلامت آبزیان تأثیر می‌گذارند (٤). برای مثال، خوش‌رو و همکاران (۲۰۱٦) گزارش کرده‌اند که تغییرات دما در نیم قرن گذشته در ایستگاه‌های مرکزی ایران از نوسان اطلس شمالی و جنوبی پیروی می‌کند (۵). علاوه بر این، مطالعات عزیزی (۲۰۰۰) و حلالی و همکاران (۲۰۲۱) نشان داده‌اند که تغییرات اقلیمی در ایران به‌شدت تحت‌تأثیر پدیده نوسان جنوبی ال‌نینو یا انسو (El Nino Southern Oscillation: ENSO) قرار دارد (٦ و ۷). نوسان ENSO، مهم‌ترین پدیده جوی–اقیانوسی است که می‌تواند شرایط آب و هوایی مناطق وسیعی از کره زمین را تغییر دهد (۸). این پدیده از دو فاز اصلی تشکیل شده که هر یک می‌توانند پیامدهای متفاوتی برای آبزی‌پروری داشته باشند (جدول ۱). ال‌نینو (El Nino)، فاز گرم آن که با شکل‌گیری نوار آب گرم اقیانوسی در مناطق استوایی مرکزی و شرقی اقیانوس آرام همراه است (۹) و لانینا (La Nina)، فاز سرد آن که با میانگین پایین دمای سطح آب در اقیانوس آرام مشخص می‌شود (۹). پدیده ENSO به تغییرات شرایط جوی و اقیانوسی که از نوسانات دمای سطح دریا و فشار اتمسفر ناشی می‌شود، اشاره دارد. ال‌نینو و لانینا به عنوان دو جزء مکمل، مجموع فعالیت‌های ENSO را منعکس می‌کنند و درک آن‌ها برای مدیریت و برنامه‌ریزی پایدار در صنعت آبزی‌پروری ضروری است. پیامدهای فاز گرم ال‌نینو می‌تواند شامل افزایش دمای آب مزارع پرورشی، کاهش اکسیژن محلول، افزایش شیوع بیماری‌ها و تغییر در دسترسی به منابع غذایی طبیعی باشد که همگی به کاهش رشد و افزایش تلفات آبزیان منجر می‌شوند. در مقابل، لانینا می‌تواند الگوهای جریان اقیانوسی را تغییر داده، بر بالا آمدن آب‌های غنی از مواد مغذی تأثیر بگذارد و حتی منجر به طوفان‌ها و بارندگی‌های شدیدتر در برخی مناطق شود که به زیرساخت‌ها و عملیات مزارع آبزی‌پروری آسیب می‌رسانند. بنابراین، پایش دقیق و پیش‌بینی رویدادهای ENSO، برای اتخاذ راهکارهای مدیریتی تطبیقی و استراتژی‌های سازگاری در راستای تضمین پایداری صنعت آبزی‌پروری در مواجهه با تغییرات اقلیمی، حیاتی است (جدول ۲).

جدول ۱- اثرات مستقیم و غیرمستقیم گزارش شده به علت تغییرات شرایط جوی و اقیانوسی ناشی از پدیده **ENSO** بر آبزی‌پروری.

Table 1. Reported Direct and Indirect Impacts of ENSO-induced Atmospheric and Oceanic Changes on Aquaculture.

Authors and Year	Direct Effects					Indirect Effects			
	Increase in pond water temperature	Reduced water access due to shifting climatic patterns	Decrease in water quality	Increase in water stress	Increase in soil and pond water salinity	Damage from severe weather events	Shortage of fishmeal resources	Disease outbreaks	Shortage of other feed ingredient resources
Anyanwu et al. (2014) (10)	+			+		+		+	
Hamdan et al. (2015) (11)					+	+		+	
Shameem et al. (2015) (12)	+	+			+	+	+	+	
Dubey et al. (2017) (13)	+	+				+		+	+
Biju Kumar et al. (2017) (14)	+		+			+			
Bueno et al. (2017) (15)	+	+		+		+		+	
Shaffril et al. (2017) (16)	+	+			+	+		+	
Adhikari et al. (2018) (17)	+			+		+	+	+	+
Islam et al. (2019) (18)	+	+			+	+			
Ahmad et al. (2020) (19)	+	+			+	+			
Falconer et al. (2020) (20)		+	+			+		+	
Lubembe et al. (2022) (21)	+	+	+		+	+	+	+	
Rahman et al. (2022) (22)	+	+			+	+			
Ghosh et al. (2024) (23)	+		+		+	+		+	
Maulu et al. (2024) (24)	+	+	+	+		+	+	+	+
Paul et al. (2024) (25)		+	+		+	+	+	+	

جدول ۲- راهکارهای مدیریتی تطبیقی و استراتژی‌های سازگاری در راستای تضمین پایداری صنعت آبزی‌پروری در مواجهه با تغییرات اقلیمی رایج که در مناطق مختلف و در سطوح مختلف. اقتباس از حسین و همکاران (۲۰۲۵) (۲۶).

Table 2. Adaptive Management and Adaptation Strategies to Ensure the Sustainability of the Aquaculture Industry in the Face of Common Climate Change in Different Regions and at Different Levels. Adapted from Hossain et al. (2025) (26).

Region	Strategies		
	Farm Level	Sector Level	National Level
South Asia	Water quality management, species selection and family labor engagement, diversification, and physical infrastructure improvement	Local knowledge transfer and continuous monitoring	Early warning systems, financial access, subsidies, and insurance facilities
Southeast Asia	Early harvesting, water quality management, diversification, and physical infrastructure improvement	Information sharing	Early warning systems, training programs, and insurance facilities
Middle East	Water level management, adoption of novel technology, and species selection	Information sharing	Training, insurance, appropriate policy-making, and monitoring
North Africa	Species selection, water level management, water pumping, and early harvesting	Continuous monitoring	Financial access and subsidies, coupled with training
Sub-Saharan Africa	Early harvesting, adoption of novel technology, and diversification	Continuous monitoring and information sharing	Financial access and subsidies, alongside early warning systems
West Africa	Species selection, early harvesting, family labor engagement, and diversification	Continuous monitoring	Financial access and subsidies, insurance, and product market development
North America	Adoption of novel technology, physical infrastructure improvement, and water quality management	Information sharing and continuous monitoring	Appropriate policy and governance, training arrangements, and early warning systems
South America	Adoption of novel technology, species selection, and infrastructure improvement	Local knowledge transfer	Practical training, insurance, financial access, and subsidies
Northern Europe	Water quality management, species selection, and adoption of novel technology	Information sharing	Training and insurance
Western Europe	Species selection, infrastructure improvement, and adoption of novel technology	Information sharing and continuous monitoring	Early warning systems, practical training, and insurance
Australia	Infrastructure improvement, species selection, and adoption of novel technology	Information sharing	Training, insurance, and financial access

جامعه بشری، به‌ویژه بخش‌های وابسته به منابع طبیعی، بیش‌ترین تأثیر را از رویداد ال‌نینو دریافت کرده است. حتی ماهیگیران پرو در دهه ۱۵۰۰ به خوبی تأثیر غیرمعمول گرمای سواحل پرو بر فعالیت‌های ماهیگیری خود را درک کرده بودند، که نشان‌دهنده سابقه طولانی تأثیر این پدیده بر منابع آبزی است (۲۷). مطالعات اخیر نیز این تأثیرات را تأیید می‌کنند؛ به عنوان مثال، در اندونزی، سال‌هایی که ال‌نینو به وقوع پیوسته است، تولید محصولات غذایی حدود ۰/۰۶ درصد کاهش یافته، در حالی که لانینا سبب افزایش ۰/۶۱ درصدی تولیدات کشاورزی شده است (۲۸). از آن‌جایی‌که رویدادهای ال‌نینو با دمای غیرعادی بالای سطح دریا مرتبط هستند، به آن‌ها "رویدادهای گرم" نیز گفته می‌شود، در حالی که لانینا به عنوان "رویداد سرد" شناخته می‌شود (۲۹). چرخه نوسان ENSO، مسبب تغییرات دمایی و بارندگی است و به طور متوسط هر دو تا هفت سال یک بار رخ می‌دهد، که از نظر شدت و پایداری دارای نوسان قابل‌ملاحظه‌ای است. در ۵۰ سال اخیر، رفتار ENSO نسبت به یک قرن قبل متفاوت بوده و فاز گرم ال‌نینو با فراوانی و شدت بیش‌تری نسبت به فاز سرد لانینا به وقوع پیوسته است که به نوبه خود تأثیر قابل‌توجهی بر فعالیت‌های انسانی، از جمله آبزی‌پروری، داشته است. به عنوان مثال، مطالعه‌ای نشان داد که تأثیرات ENSO بر مقدار بار و غلظت نیترات (NO_3) اتمسفر، جریان رودخانه و مقدار بارش در یک حوضه آبخیز به وسعت ۳/۳۴ کیلومترمربع، بر پویایی اکوسیستم‌های آبی تأثیرگذار بوده است (۳۰). بروز تغییرات گسترده در گرم شدن اتمسفر نواحی استوایی، منجر به تغییر گردش جهانی اتمسفر شده و اقلیم تمام دنیا را تحت‌تأثیر قرار داده است، از این‌رو الگوی پیوند از راه دور فراتر از منطقه اقیانوس آرام را به دنبال داشته است (۳۱). گرمایش زمین ناشی از تغییر اقلیم به واسطه بروز پدیده ENSO نقش مهمی در ارتباطات بین کشورها دارد (۳۲). مورخان تشدید بلایای طبیعی با تأثیرات اقتصادی و اجتماعی گسترده را به رویدادهای ناشی از ENSO مرتبط دانسته‌اند (۳۳). تخمین زده شده است که تغییر اقلیم ناشی از پدیده ال‌نینو در برخی مناطق مانند استرالیا، شیلی، اندونزی، نیوزیلند و پرو که در کانون آن قرار داشتند، تحت‌تأثیر مستقیم آن بوده‌اند (۳٤). به‌طوری‌که خشکسالی ده‌ساله در حوضه رودخانه کلرادو، خشکسالی‌ها در خاورمیانه، شرق و جنوب آفریقا و در اوراسیا در ارتباط با رخداد نوسانات ENSO و نوسانات اقیانوس اطلس شمالی بوده است (۳۵). در مقایسه دو پدیده ال‌نینو و لانینا، اسمیت و اوبیلاوا (۲۰۱۷) تأثیر پدیده‌های جوی را روی نرخ رشد اقتصادی و کشاورزی در ٦۹ کشور در حال توسعه بر اساس روش رگرسیون خطی و آستانه‌ای مورد بررسی و تحلیل قرار دادند (۳٦). آن‌ها بیان نمودند که پدیده‌های ال‌نینو تأثیر منفی روی رشد جوامع این کشورها داشته و تأثیرات پدیده‌های لانینا کم‌اهمیت بوده است. در واقع، ENSO بر تنوع آب و هوا در مقیاس جهانی با تفاوت‌های زیادی در الگوهای فضایی تأثیر می‌گذارد و بسیاری از کشورهای آسیب‌پذیر تحت تأثیر تغییرات اقلیمی ناشی از این پدیده قرار می‌گیرند (۳۷). هر رویداد ENSO متفاوت بوده و با دیگر پدیده‌های اقلیمی مرتبط است. نتیجه آن این است که در دوره‌هایی که پدیده ENSO سبب ایجاد تغییراتی در دمای سطحی دریا می‌شود، می‌تواند تغییرات شدیدی را در سطح ناحیه و یا کشور ایجاد نماید (۳٦). بررسی منابع نشان می‌دهد که پدیده‌های ENSO در مقیاس بزرگ، تأثیرات منطقه‌ای بر الگوی آب و هوایی فصلی داشته که تغییر اقلیم کشورهای آن ناحیه را به دنبال داشته است (۳۸). بررسی اثرات ENSO بر اقلیم اروپا و اطلس شمالی در طول ۱۱۹

زمستان بیانگر ارتباط قوی بین فاز سرد ENSO (لانینا) با وقوع پدیده‌های یخبندان و سوزباد در این مناطق بوده و تأثیر پدیده ال‌نینو (فاز گرم) سبب افزایش بارش، تغییر بارش از برف به باران و افزایش درجه حرارت زمستانی به ویژه افزایش دمای سطح آب را به دنبال داشته است (۳۹). در ایران نیز، پژوهش‌های انجام گرفته بیانگر تأثیر الگوی جوی- اقیانوسی ENSO بر مقدار بارش، همبستگی و ارتباط پیوند از دور موجود بین افزایش بارش در دوره سرد سال با وقوع رخداد ال‌نینو دارد و تأثیر پدیده لانینا به صورت کاهش بارش و خشکسالی بوده است (٤٠). این تغییرات در الگوهای دما و بارش، به طور مستقیم بر منابع آب شیرین و دریایی، کیفیت آب، شیوع بیماری‌ها و دسترسی به غذا برای آبزیان پرورشی تأثیر می‌گذارد و از این رو مدیریت ریسک و سازگاری با این پدیده‌ها برای پایداری صنعت صید و آبزی‌پروری ضروری است (٤١ و ٤٢).

رویدادهای جوی و تغییرات اقلیمی پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و مالی گسترده‌ای به همراه دارند. یکی از مهم‌ترین پاسخ‌های زمین به نوسانات جوی، تغییرات در چرخه آب است. این تغییرات به طور مستقیم بر آبزی‌پروری تأثیر می‌گذارند، زیرا دسترسی و کیفیت آب برای این صنعت حیاتی است. بررسی‌ها نشان داده‌اند که رویدادهای شدید ENSO می‌توانند از طریق افزایش تغذیه اپیزودیک در مناطق نیمه‌خشک، تأثیر مثبتی بر منابع آب زیرزمینی داشته باشند (٤٣). این امر می‌تواند برای برخی سیستم‌های آبزی‌پروری مبتنی بر آب‌های زیرزمینی مفید باشد. با این‌حال، در سوی دیگر، نوسانات شدید بارش و الگوهای بارش، پراکنش نامناسب زمانی و مکانی نزولات آسمانی، تبخیر و تعرق زیاد و افزایش محسوس وقوع خشکسالی و سیل و فراوانی آن‌ها، از جمله تغییرات ناشی از آثار چرخه ENSO با شدت و ضعف متفاوت هستند. این پیامدها، عواقب جدی برای جوامع انسانی و اکوسیستم‌ها در پی دارند و آن‌ها را به سمت بی‌ثباتی سوق می‌دهند. در زمینه آبزی‌پروری، این تغییرات اقلیمی می‌تواند منجر به کاهش منابع آب شیرین شوند. خشکسالی‌ها و پراکنش نامناسب بارش می‌توانند دسترسی به آب شیرین کافی برای مزارع پرورش ماهی، میگو و سایر آبزیان را به شدت محدود کنند. در مناطق ساحلی و آب شیرین، کاهش ورودی آب و افزایش تبخیر می‌تواند منجر به افزایش شوری آب شود که برای بسیاری از گونه‌های آبزی پرورشی استرس‌زا یا حتی کشنده است. نوسانات دمایی ناشی از ENSO می‌تواند بر نرخ رشد، متابولیسم و سیستم ایمنی آبزیان تأثیر منفی بگذارد و آن‌ها را مستعد بیماری‌ها کند. سیلاب‌های ناشی از بارش‌های شدید می‌توانند به مزارع پرورشی آسیب فیزیکی وارد کرده، باعث فرار آبزیان و از بین رفتن محصول شوند. تغییرات گسترده در چرخه آب و اقلیم می‌توانند بر منابع غذایی طبیعی، مهاجرت گونه‌ها و سلامت کلی اکوسیستم‌های آبی که زیربنای آبزی‌پروری هستند، تأثیر بگذارند. با توجه به تأثیرپذیری همه فعالیت‌های انسانی از نوسانات اقلیمی، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر رخداد جوی- اقیانوسی ENSO بر تغییرات اقلیمی در برخی مناطق براساس پژوهش‌های انجام شده صورت پذیرفته است. درک دقیق این تأثیرات برای توسعه راهبردهای سازگاری و تاب‌آوری در صنعت آبزی‌پروری ضروری است تا بتوان پایداری تولید و سلامت آبزیان را در مواجهه با چالش‌های اقلیمی آینده تضمین کرد.

مواد و روش‌ها

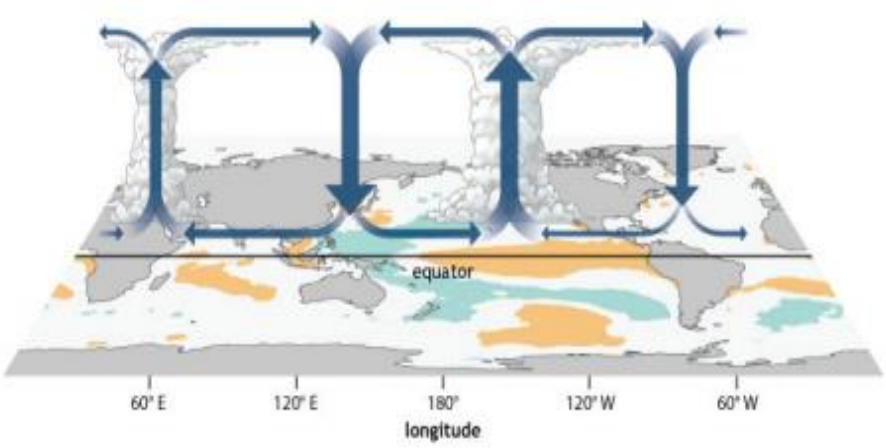
ایران در کمربند خشک جهان قرار گرفته و بخش اعظمی از اقلیم آن خشک و نیمه‌خشک است و نوسانات آب و هوایی معضل کمبود آب امنیت

اقتصادی و غذایی کشور را تهدید می‌کند، بنابراین شناخت عوامل تأثیرگذار بر سامانه‌های جوی و اقلیمی می‌تواند در درک و مدیریت سازگار جریات حادث شده در جهت ایجاد یک اکوسیستم باثبات و پایدار کمک نماید. به منظور بررسی تغییر اقلیم ناشی از رویدادهای جوی- اقیانوسی پژوهشی با استفاده از روش کتابخانه‌ای و بررسی منابع معتبر علمی به‌صورت مروری و تحلیل پژوهش‌های انجام شده پرداخته شده و از روش داده‌پردازی استفاده نشده است. داده‌های مورد استفاده حاصل از جستجو در پایگاه‌های علمی مگیران، SID، Google Scholar، Science Direct، Elsevier، CABI با استفاده از کلمات کلیدی: ENSO، El Nino، La Nina، Climate change و Sustainable agriculture انجام شد. نکته در خور تامل این‌که در همه پژوهش‌ها تأثیرپذیری فعالیت‌های اجتماعی، اقتصادی و سلامتی انسان را متأثر از چرخه‌های نوسانی جنوبی ال‌نینو دانسته که به همراه اثر گلخانه‌ای فعالیت‌های انسانی منجر به بروز تغییرات اقلیمی در کشورها شده است. با توجه به اهمیت رخداد ENSO، سعی شده است تا نحوه فعالیت و تأثیرگذاری موالفه‌های آن که شامل ال‌نینو و لانینا است، در چند منطقه به صورت نمونه مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین مطالب مرتبط گردآوری و با حفظ ساختار علمی آن سعی شده است تا شیوایی و وضوح اطلاعات کمکی به مدیریت بهینه منابع طبیعی داشته باشد.

رخداد لانینا (La Nina) و ال‌نینو (El Nino):

لانینا یک الگوی آب و هوایی است که در اقیانوس آرام رخ می‌دهد. در طول این رویداد، بادهای قوی، آب گرم سطح اقیانوس را از سواحل آمریکای جنوبی به سمت اندونزی حرکت می‌دهند. همان‌طور که آب گرم به سمت غرب جابجا می‌شود، آب سرد از اعماق اقیانوس در نزدیکی سواحل آمریکای جنوبی به سطح می‌آید. در دوره لانینا، دمای سطح دریا در سراسر بخش استوایی شرقی اقیانوس آرام مرکزی بین ۳ تا ۵ درجه سانتی‌گراد کم‌تر از حد طبیعی خواهد بود. لانینا یک الگوی آب و هوایی پیچیده است که هر چند سال یک بار در نتیجه تغییرات دمای اقیانوس در نوار استوایی اقیانوس آرام رخ می‌دهد (٤٤). از دیدگاه آبزی‌پروری، این کاهش دما می‌تواند برای گونه‌های آبزی پرورشی که به آب‌های سردتر عادت دارند، مفید باشد و حتی ممکن است منجر به افزایش بهره‌وری شود. با این‌حال، تغییر در الگوهای جریان و بالا آمدن آب می‌تواند بر دسترسی به مواد مغذی و توزیع پلانکتون‌ها، که منابع غذایی مهمی برای بسیاری از آبزیان پرورشی هستند، تأثیر بگذارد (٤٥). در مقابل، در پدیده ال‌نینو، آب‌های شرقی و مرکزی اقیانوس آرام حاره‌ای بیش از حد معمول گرم شده و این گرمی از دوام و پایداری کافی زمانی برخوردار است. در نتیجه، الگوی فشار هوا و حرکت باد در عرض‌های استوایی اقیانوس آرام دچار ناهنجاری شده و از حالت معمول خود خارج می‌شود. پیامدهای ال‌نینو برای آبزی‌پروری شامل خشکسالی شدید و به همراه آن ناامنی غذایی، سیل، باران و افزایش دما است که می‌تواند طیف گسترده‌ای از مشکلات اجتماعی و اقتصادی را ایجاد کند. این افزایش دما و تغییرات هیدرولوژیکی می‌تواند به استرس گرمایی در آبزیان پرورشی، کاهش سطح اکسیژن محلول در آب، افزایش شیوع بیماری‌ها و تغییر در دسترسی به منابع غذایی طبیعی منجر شود که همگی بر تولید و بقای آبزیان تأثیر منفی می‌گذارند. هم‌چنین، سیلاب‌ها می‌توانند به زیرساخت‌های مزارع پرورشی آسیب رسانده و باعث فرار آبزیان و از دست رفتن سرمایه شوند. هر دو پدیده ال‌نینو و لانینا، که دو فاز اصلی ENSO هستند، بر بارندگی، سیل، پویایی اکوسیستم‌های آبی و پیامدهای آن‌ها برای کشاورزی و امنیت غذایی

تأثیر می‌گذارند (٤٦ و ٤٧). همان‌طور که (شکل ١) نشان می‌دهد، ال‌نینو گرم شدن محلی آب‌های سطحی است که در کل منطقه استوایی اقیانوس آرام مرکزی و شرقی سواحل پرو رخ می‌دهد و بر گردش جوی در سراسر جهان تأثیر می‌گذارد (٤٨). این تأثیرات جهانی به معنای آن است که حتی مناطق دورتر از اقیانوس آرام نیز می‌توانند پیامدهای غیرمستقیمی را در فعالیت‌های آبزی‌پروری خود تجربه کنند، که این امر لزوم برنامه‌ریزی جامع و استراتژی‌های تطبیقی را برای حفظ پایداری این صنعت در برابر نوسانات اقلیمی برجسته می‌سازد.



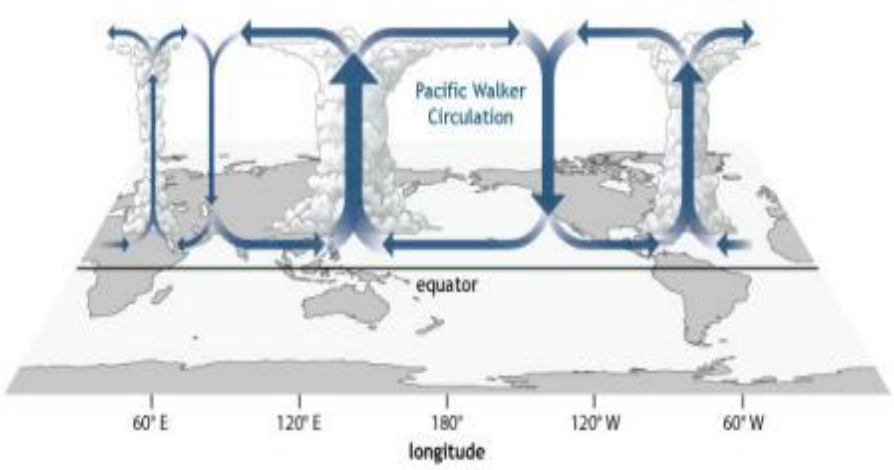
شکل ١- رخداد ال‌نینو (El Nino). بررسی شرایط ال‌نینو در وقوع دمای سطح دریا (محور افقی طول جغرافیایی است).

اقتباس از www.gfdl.noaa.gov.

Figure 1. El Niño Event. Examining El Niño conditions in the occurrence of sea surface temperature (horizontal axis is longitude). Adapted from www.gfdl.noaa.gov.

ناهنجاری‌های گردشی که در طی پدیده ال‌نینو، عمدتاً از ماه آذر تا اسفند، روی می‌دهند، باعث تغییرات و ناهنجاری‌هایی در میانگین دمای سطح دریا می‌شوند (٤٩). همان‌گونه که در (شکل ١) به رنگ نارنجی مشاهده می‌شود، گرم شدن غیرعادی در مرکز و شرق اقیانوس آرام به ایجاد یک شاخه صعودی در حال گردش به صورت ١٨٠ درجه به سمت شرق کمک می‌کند، در حالی‌که شاخه‌های در حال فرورفتن در سمت شمالی آمریکای جنوبی منتقل می‌شوند. این تغییرات در الگوهای جریانی و دمایی اقیانوس، پیامدهای مستقیمی بر آبزی‌پروری دریایی و ساحلی دارد. گرم شدن غیرعادی آب می‌تواند به استرس حرارتی در گونه‌های پرورشی حساس به دما منجر شود، که خود باعث کاهش رشد، افزایش ضریب تبدیل غذا و حتی افزایش تلفات می‌گردد (٥٠). ENSO، در واقع یک حرکت متعادل‌کننده توده‌های هوای شرق- غرب بین اقیانوس آرام و نواحی اندونزی و استرالیا است (٥١). این پدیده با الگوهای باد معمولی و ال‌نینو مرتبط (تقریبا همگام) است و با شاخص نوسان جنوبی (Southern Oscillation Index: SOI) اندازه‌گیری می‌شود (٥٢). در حالی‌که ال‌نینو یک رویداد اقیانوسی است، نوسان جنوبی یک رویداد جوی محسوب می‌شود (٥٣). ترکیب این دو رویداد باعث پیدایش اصطلاح ENSO می‌شود. اگرچه هیچ همبستگی کاملی بین ال‌نینو و نوسان جنوبی از نظر تغییرات جزئی وجود ندارد، مقادیر منفی بزرگ SOI به طور

مشخصی با رویدادهای گرم (ال‌نینو) مرتبط هستند. در بین دو فاز گرم (ال‌نینو) و فاز سرد (لانینا)، دانشمندان یک فاز حدواسط به عنوان ENSO خنثی را توصیف کرده‌اند (٥٤). بخش خنثی که به ENSO اضافه شده به معنی وجود میانگین در دما، باد، جریان همرفتی (بالا رفتن هوا) و بارندگی در سراسر اقیانوس آرام است (شکل ۲). برای صنعت آبزی‌پروری، درک این فازهای مختلف ENSO حیاتی است. فاز گرم ال‌نینو با افزایش دمای سطح دریا، می‌تواند بر زیستگاه‌های طبیعی آبزیان، کیفیت آب در استخرهای پرورشی و شیوع بیماری‌ها تأثیر منفی بگذارد. افزایش دما هم‌چنین می‌تواند منجر به کاهش اکسیژن محلول و تغییر در ترکیب گونه‌های پلانکتونی شود که زنجیره غذایی آبزیان پرورشی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. در مقابل، فاز سرد لانینا با کاهش دما و تغییر الگوهای جریان، ممکن است برای برخی گونه‌های آبزی مناسب‌تر باشد، اما هم‌چنان می‌تواند چالش‌هایی مانند تغییر در دسترسی به غذا و شرایط آب و هوایی نامساعد را به دنبال داشته باشد. فاز خنثی ENSO نیز می‌تواند دوره‌ای از ثبات نسبی را برای برنامه‌ریزی‌های بلندمدت در آبزی‌پروری فراهم کند. بنابراین، پایش مستمر SOI و درک دقیق دینامیک ENSO برای پیش‌بینی و مدیریت ریسک‌های اقلیمی در بخش آبزی‌پروری ضروری است.



شکل ۲- شرایط خنثی. تأثیر فاز گرم ال نینو (El Nino) و فاز سرد لانینا (La Nina) در وقوع دمای سطح دریا (محور افقی طول جغرافیایی است). اقتباس از www.gfdl.noaa.gov.

Figure 2. Neutral Conditions. The impact of the warm phase of El Niño and the cold phase of La Niña on the occurrence of sea surface temperature (the horizontal axis is longitude). Adapted from www.gfdl.noaa.gov.

مفهوم نوسان جنوبی نخستین بار توسط پژوهش‌های واکر تأیید شد (٥٥). او نوسان فشار بین نواحی شرقی و غربی اقیانوس آرام جنوبی را پدیده نوسان جنوبی نامید. نوسان جنوبی، همتای ال‌نینو نام گرفته و ارتباط نزدیک این دو سبب شده تا در حال حاضر به عنوان مظاهر سیستم توأمان جوی- اقیانوسی در نواحی حاره‌ای اقیانوس آرام شناخته شده و تحت عنوان ENSO بیان شوند (٥٦). این پدیده جوی- اقیانوسی، تأثیرات عمیقی بر شرایط محیطی دارد که به‌طور مستقیم بر آبزی‌پروری اثر می‌گذارد. همان‌گونه که در (شکل ۲) مشاهده می‌شود، جریان واکر، یک گردش مداری است که در عرض‌های جغرافیایی پایین به

وقوع می‌پیوندد. به این ترتیب که وجود توزیع ناهمگن خشکی و دریا و نیز بروز تغییرات دمایی در سطح اقیانوس آرام موجب گرم شدن نامتقارن مداری و گردش شرقی- غربی هوا می‌شود. هوا در مناطق گرم و اقیانوس آرام غربی صعود می‌کند و در مناطق نسبتا سرد اقیانوس آرام فرونشینی می‌کند. اختلاف فشار ناشی از این دو جبهه سبب پیدایش چرخش شرقی- غربی (مداری) هوا در منطقه اقیانوس آرام می‌شود که همان گردش واکر است. به طور طبیعی در گردش سلولی واکر، بادهای سطحی از شرق و بادهای فوقانی از غرب می‌وزند. وقوع پدیده ال‌نینو سبب به‌هم خوردن گردش سلولی واکر و در برخی مواقع حتی معکوس شدن آن می‌شود. این اختلال در گردش واکر و بوجود آمدن سلول‌های کوچک‌تر می‌تواند بسیاری از سوانح محیطی را تحریک کند (۵۷). از دیدگاه آبزی‌پروری، پیامدهای این تغییرات بسیار قابل‌توجه است. اختلال در گردش واکر و متعاقبا تغییر در دمای سطح اقیانوس، به طور مستقیم بر دمای آب در مزارع آبزی‌پروری دریایی و ساحلی تأثیر می‌گذارد. افزایش دما می‌تواند منجر به استرس گرمایی و کاهش اکسیژن محلول شود، در حالی که تغییر در الگوهای بارش می‌تواند شوری آب را نیز تحت‌تأثیر قرار دهد. تغییر در بالا آمدن آب‌های عمیق ناشی از اختلال در گردش واکر، می‌تواند دسترسی به مواد مغذی مهم برای فتوسنتز پلانکتون‌ها (پایه زنجیره غذایی آبزیان) را کاهش دهد. این امر به نوبه خود بر رشد و تولید آبزیان پرورشی تأثیر منفی می‌گذارد. نوسانات دمایی و تغییر در کیفیت آب می‌تواند سیستم ایمنی آبزیان را تضعیف کرده و آن‌ها را مستعد ابتلا به بیماری‌ها سازد، که منجر به افزایش تلفات و خسارات اقتصادی می‌شود. تحریک سوانح محیطی مانند طوفان‌ها یا خشکسالی‌های شدید ناشی از تغییرات در گردش واکر، می‌تواند به زیرساخت‌های فیزیکی مزارع پرورشی آسیب رسانده و عملیات روزانه را مختل کند. بنابراین، درک چگونگی تأثیر نوسان جنوبی و به ویژه تغییرات در گردش واکر ناشی از ENSO، برای پیش‌بینی ریسک‌ها و توسعه استراتژی‌های مدیریت انطباقی در صنعت آبزی‌پروری ضروری است تا بتوان پایداری و تاب‌آوری تولید را در برابر نوسانات اقلیمی تضمین کرد.

تأثیرات الگوی جوی- اقیانوسی ENSO در ایران:

پدیده ENSO علاوه بر تأثیرگذاری بر اقلیم و بارش نیم‌کره جنوبی، تأثیر مهمی بر اقلیم و بارش نیمکره شمالی نیز دارد. در ایران، این پدیده در برخی ماه‌ها و فصول سال، به‌طور غیرمستقیم و از طریق دگرگون‌سازی الگوهای گردش عمومی جو، بر رژیم بارشی نواحی مختلف وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها تأثیرگذار بوده است. این نوسانات اقلیمی، به‌ویژه برای آبزی‌پروری در ایران که به شدت به منابع آبی (چه شیرین و چه شور) وابسته است، پیامدهای قابل‌توجهی دارد. ناظم‌السادات (۱۹۹۹) همبستگی وقوع پدیده ال‌نینو با بارش را مثبت ارزیابی کرده و تأثیر وقوع رخداد لانینا را با خشکسالی‌های پاییزه مرتبط و هم‌زمان دانسته است (۵۸). این موضوع برای آبزی‌پروری داخلی دارای اهمیت است؛ افزایش بارش در دوره‌های ال‌نینو می‌تواند به افزایش دسترسی به آب شیرین برای استخرهای پرورشی و مزارع آبزی‌پروری در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک کند، در حالی‌که خشکسالی‌های ناشی از لانینا می‌تواند به کاهش منابع آبی، افزایش شوری و کاهش کیفیت آب منجر شود که سلامت و رشد آبزیان را به خطر می‌اندازد. بررسی ناهنجاری بارش‌های جنوب شرق ایران نیز نشان داده است که وقوع ال‌نینو با بارش‌های پاییزه در این نواحی مطابقت دارد (۵۹). حلالی و همکاران (۲۰۲۱)

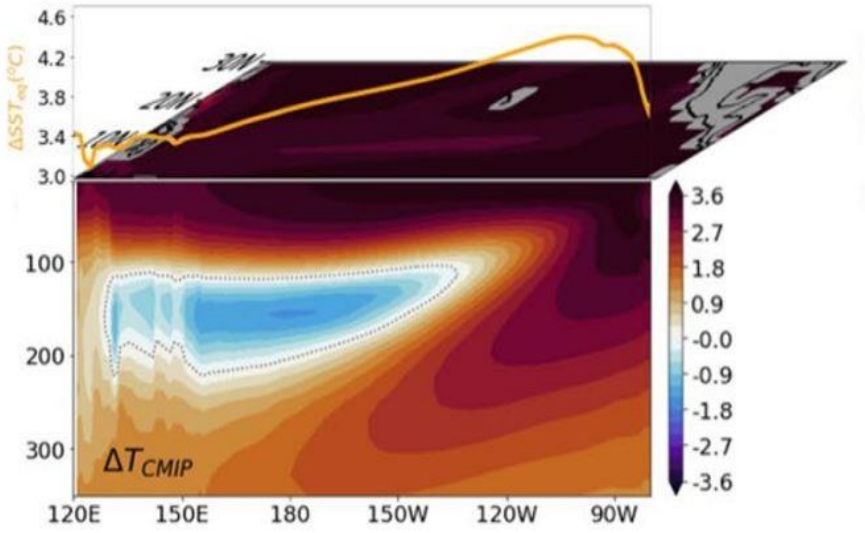
در تحلیلی سینوپتیکی از خشکسالی‌های فراگیر در ایران، ارتباط پدیده ENSO و خشکسالی‌ها را به انطباق زمانی برخی ترسالی‌های ایران با پدیده ال‌نینو و همین‌طور خشکسالی‌ها را با پدیده لانینا مرتبط دانسته است (۷). براساس پژوهش‌های انجام گرفته، همبستگی و ارتباط بین افزایش بارش در دوره سرد سال و در سال‌های وقوع ال‌نینو وجود دارد (٦). هم‌چنین بین وقوع پدیده لانینا با کاهش بارش و خشکسالی، همبستگی آن نیز تأیید شده است (٦). این یافته‌ها ضرورت پیش‌بینی دقیق فازهای ENSO را برای مدیریت منابع آب در آبزی‌پروری دوچندان می‌کند. نتایج مطالعه قویدل رحمانی (۲۰۰٤) که سنجه‌های مختلف نینو (۱+۲، ۳، ٤ و نیز SOI) را در ایستگاه‌های آذربایجان شرقی مورد بررسی قرار داد، گزارش کرد که نوسانات بارش فصل پاییز با پدیده ENSO همبستگی دارد؛ به طوری که مقدار بارش با ال‌نینو همبستگی مثبت توأم با افزایش و با فاز سرد ENSO (لانینا) همبستگی منفی توأم با وقوع خشکسالی‌های پاییزه بوده است (٤٠). این امر نشان می‌دهد که در مناطق شمال غربی ایران نیز، آبزی‌پروری می‌تواند از طریق تغییرات در دسترسی به آب تحت‌تأثیر قرار گیرد. مطالعه نجف‌پور و کیانی‌پور (۲۰۱۲) نیز نشان داد که در سه ماه آذر، دی و بهمن در سال لانینا، شرایط مناسب‌تری برای ایجاد بارش نسبت به سال ال‌نینو وجود دارد، اما در جنوب و جنوب غرب کشور، داده‌های میانگین بارش سالیانه خلاف این امر را نشان می‌دهد (٦٠). این تفاوت‌های منطقه‌ای در تأثیر ENSO بر بارش، بر اهمیت تحلیل‌های منطقه‌ای برای برنامه‌ریزی‌های آبزی‌پروری تأکید می‌کند. رویدادهای جوی در ایران با تأخیر زمانی نسبت به اصل پدیده در کشور ظاهر می‌شود. با این‌حال، اثرپذیری آب و هوا علاوه بر رخداد ENSO، با پدیده‌های دور پیوند نیز مرتبط است. در مجموع، تأثیر فاز گرم ENSO (ال‌نینو) باعث افزایش بارش‌ها و فاز سرد ENSO (لانینا) باعث کاهش بارش‌ها در کشور شده است (٦١). این تغییرات در الگوی بارش، مستقیماً بر میزان آب موجود در سدها، رودخانه‌ها و سفره‌های زیرزمینی که منابع اصلی آب برای بسیاری از مزارع آبزی‌پروری هستند، تأثیر می‌گذارد. بنابراین، درک دقیق ارتباط بین ENSO و رژیم بارشی ایران برای مدیریت پایدار منابع آبی، برنامه‌ریزی تولید و توسعه استراتژی‌های کاهش ریسک در صنعت آبزی‌پروری کشور ضروری است.

تأثیرات پدیده ENSO در اقلیم‌های دیگر: یکی از عوامل مهم تغییرات اقلیمی در کره زمین، گردش کلی جو همراه با جریان‌های اقیانوسی است که نقش مهمی در برقراری توازن انرژی گرمایی جو زمین بر عهده دارد. دورپیوندها که ناشی از تغییرات هم‌زمان دو الگوی جوی در فاصله دور از هم هستند، نقش مهمی در تغییرات اقلیمی در مقیاس گاهشماری دارند. از جمله مهمترین دورپیوندها، پدیده ENSO است. این پدیده‌ها و تأثیرات گسترده آن‌ها، برای صنعت آبزی‌پروری در سراسر جهان، از جمله ایران، بسیار دارای اهمیت است. نتایج مطالعات نشان داده است که شدت بارش و طوفان‌ها در اقیانوس اطلس و دریای کارائیب ناشی از قوی‌تر بودن رخداد لانینا و تضعیف پدیده ال‌نینو است (٦٢). در استرالیا، لانینای قوی سبب ایجاد ترسالی شده و خشکسالی با شدت ال‌نینو ارتباط نداشته است (٦٣). این امر برای آبزی‌پروری دریایی و آب شیرین در این مناطق اهمیت دارد، زیرا افزایش بارش می‌تواند به افزایش منابع آب و پویایی اکوسیستم‌های آبی کمک کند، در حالی‌که خشکسالی‌ها (ناشی از ال‌نینو در برخی مناطق) می‌توانند تهدیدی جدی برای این منابع باشند. بررسی داده‌ها در

آمریکای شمالی نشان داده است که استقرار یک منطقه پرفشار با مقیاس قاره‌ای در آمریکا سبب ایجاد تابستانی خشک و داغ در مرکز آمریکا شده است، در حالی‌که اثر ال‌نینو ضعیف و کاملاً متغیر است (٦٤). این خشکی و گرمای شدید می‌تواند منجر به افزایش دمای آب در مزارع پرورشی، کاهش سطح اکسیژن محلول و شیوع بیماری‌ها در آبزی‌پروری داخلی شود. نتایج مطالعه در شبه‌قاره هند نشان می‌دهد بیش‌تر شرایط خشکسالی در منطقه‌ای با باران‌های موسمی تابستانه با رخداد ال‌نینو همراه است (۱۳ سال از ۱۸ سال)، که نشان می‌دهد ۷۲ درصد از سال‌های خشکسالی مربوط به منطقه اقیانوس آرام بوده است. در بین این ۱۳ سال خشکسالی، هفت سال آن با ال‌نینو قوی همراه بود و کل شمال و اکثر مناطق مرکزی هند زیر شرایط نرمال بوده‌اند (٦٥). این خشکسالی‌های شدید ناشی از ال‌نینو در مناطق وابسته به بارش‌های موسمی، مستقیماً بر دسترسی به آب شیرین برای آبزی‌پروری داخلی و همچنین بر شوری آب در مناطق ساحلی تأثیر می‌گذارد و می‌تواند به کاهش تولید و افزایش تلفات در این صنعت منجر شود. منطقه جنوب شرق آسیا یکی از آسیب‌پذیرترین مناطق در برابر تغییرات آب و هوایی است (٦٦). با این وجود، این منطقه در اجرای اقدامات مناسب کاهش تأثیرات آب و هوایی عقب مانده است (٦٧). ENSO تأثیر زیادی بر آب و هوای این منطقه دارد، به طوری که بارش ناشی از ENSO و ناهنجاری‌های دمای هوای نزدیک به سطح را در این منطقه به وجود آورده است. این اطلاعات از مقایسه بیست منطقه فرعی آن در دامنه ۱۹۸۵ تا ۲۰۱٤ شبیه‌سازی و مقایسه شده‌اند. قابل‌توجه‌ترین تغییرات در منطقه جنوب‌شرقی آسیا، تقویت قوی ناهنجاری‌های دمایی مثبت ناشی از ENSO در شمال هند و چین و میانمار در طول زمستان است. این مناطق معمولاً زمستان خنک‌تری را تجربه می‌کنند، اما تأثیر رخداد ال‌نینو در این مناطق بیانگر افزایش قابل‌توجه دما بوده است (٦٨). این افزایش دما برای آبزی‌پروری در آب‌های شیرین و دریایی این مناطق می‌تواند بسیار چالش‌برانگیز باشد و نیازمند سازگاری گونه‌های پرورشی یا تغییر روش‌های مدیریت است. به‌طور کلی، درک دقیق تأثیرات منطقه‌ای و جهانی ENSO برای توسعه استراتژی‌های مدیریت ریسک، انتخاب گونه‌های مقاوم‌تر و برنامه‌ریزی پایدار در صنعت آبزی‌پروری در سراسر جهان ضروری است.

آینده و تغییر اقلیم ناشی از پدیده ENSO: مکانیسم‌های ترمودینامیکی متفاوتی برای توضیح خصوصیات الگوهای گرمایش یافته در منطقه استوایی اقیانوس آرام پیشنهاد شده است. یکی از مکانیسم‌های کلیدی نشان می‌دهد که سرعت بادهای اقلیمی در استوا ضعیف‌تر شده که منجر به کاهش حساسیت بازخوردی سرمایش ناشی از تبخیر آب در این منطقه شده است. در نتیجه، انرژی تابشی در این ناحیه سبب افزایش گرمایش استوایی می‌شود. این تغییرات در گرمایش سطحی اقیانوسی بیش‌تر توسط اختلالات فرآیندهای سطحی اقیانوسی و نیروهای ابری کم پشتیبانی می‌شود (٦٩). برای آبزی‌پروری، این گرمایش می‌تواند به معنای افزایش دمای آب در مزارع پرورشی، کاهش اکسیژن محلول و افزایش استرس حرارتی برای آبزیان باشد. به‌طور متوسط، مدل‌های اقلیمی نیز گرمایش آینده بارزتری را در شرق اقیانوس آرام نسبت به ناحیه غربی آن شبیه‌سازی می‌کنند، که منجر به تضعیف جزئی شیب دمایی در سطح دریا می‌شود (شکل ۳). بررسی‌ها نشان می‌دهد که تغییرات بارندگی در آینده و تغییرات شوری سطح مربوطه می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی به کاهش گرادیان دمای

سطح دریا در ناحیه استوایی اقیانوس آرام و کاهش سرعت گردش واکر و فرآیندهای بازخوردی آن منجر شود (۷۰). این تغییرات در گرادیان دما و کاهش سرعت گردش واکر، به‌طور مستقیم بر بالا آمدن آب‌های غنی از مواد مغذی که برای فتوسنتز پلانکتون‌ها (پایه زنجیره غذایی آبزیان) ضروری است، تأثیر می‌گذارد و می‌تواند تولید اولیه و در دسترس بودن غذا برای آبزیان پرورشی را مختل کند (۷۱ و ۷۲). در مطالعه‌ای، یوون و همکاران (۲۰۱۵) بیان نمودند تنوع آب و هوایی توسط فازهای گرم و سرد ENSO به‌همراه پیش‌زمینه‌سازهای آن‌ها تنظیم می‌شود که یک چرخه کامل ENSO را فرموله می‌کند (۷۳). آن‌ها خاطرنشان می‌کنند در آینده چرخه ENSO بزرگتر شده و احتمال ریزش بارش را در برخی مناطق تشدید می‌کند (۷۳). در واقع، برخلاف یافته‌های قبلی مبنی بر عدم تغییر دامنه و فرکانس ENSO ناشی از گرمایش زمین بر اثر پدیده گلخانه‌ای، مطالعات اخیر یک رابطه غیرخطی در پدیده‌های ENSO وجود دارد و نشان می‌دهد در آینده رویدادهای ال‌نینو و لانینا تشدید شده و افزایش فرکانس ENSO را به دنبال خواهد داشت. این پیش‌بینی به معنای افزایش ریسک نوسانات شدید دما و بارش برای صنعت آبزی‌پروری است. مطالعات عرصه‌ای در این زمینه نشان داده است که بین افزایش شدید چرخه آب و رویدادهای شدید ال‌نینو و لانینا در منطقه کالیفرنیا رابطه قوی وجود داشته است. با این‌حال، پیوند از راه دور با چرخه ENSO در نتیجه گرم شدن اقیانوس آرام تشدید می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر، فنگ و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که در منطقه استرالیا بروز پدیده ال‌نینو در این منطقه سبب تولید بادهای تجاری ضعیف شد که منجر به بروز خشکسالی در مقیاس بزرگ در استرالیا شد (۷٤). در صورتی که در منطقه شرقی استرالیا، رویداد لانینا منجر به بروز بارندگی بیش‌تر از حد طبیعی شد. در آمریکا، بارندگی کافی به همراه دمای خنک در فصول تیر تا شهریور همراه با رخداد ال‌نینو بود، در صورتی که درجه حرارت بالا و تنش خشکی در طی دوره انتقال از لانینا حاصل شد. این چنین ناهنجاری‌ها منجر به کاهش و یا افزایش درجه حرارت و شرایط خشکی در رخدادهای ال‌نینو و لانینا می‌شود (۷۵). این نوسانات شدید دمایی و هیدرولوژیکی می‌تواند به‌طور مستقیم بر رشد، سلامت و بقای آبزیان پرورشی تأثیر بگذارد و برنامه‌ریزی تولید را دچار چالش کند. از طرفی، بارنستون و همکاران (۲۰۱۲) معتقدند پیش‌بینی‌های خشکسالی باید با جفت شدن چرخه ENSO و پیوند از راه دور با رویدادهای ENSO مرتبط باشد (۷٦). تأثیر متقابل دینامیک اقلیمی مرتبط با رویدادهای ENSO شرایط آب و هوایی خاص را پدید می‌آورد که می‌توان از این الگوها در جهت بهبود تأثیر ENSO در آب و هوای مناطق پیش‌بینی کرد. با این وجود، در بسیاری از نواحی به استثنای نواحی غربی، لانینا تأثیرات متفاوتی روی متغیرهای اقلیمی نسبت به رویداد ال‌نینو دارد (۷۷). این پیچیدگی‌ها نشان می‌دهد که برای مدیریت موفقیت‌آمیز مزارع آبزی‌پروری، درک دقیق الگوهای منطقه‌ای تأثیر ENSO و پیش‌بینی‌های دقیق آن از اهمیت بالایی برخوردار است تا بتوان استراتژی‌های انطباقی مناسبی را برای کاهش ریسک و تضمین پایداری تولید در آینده توسعه داد.

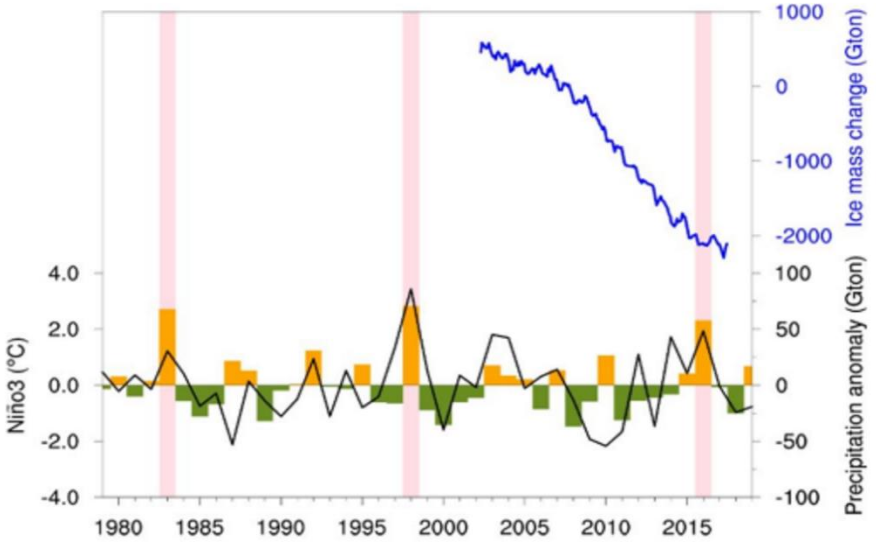


شکل ۳- تغییرات دمایی در سطح دریا (منحنی نارنجی) را نشان می‌دهد. این ناهنجاری در فاصله بین ۵ درجه شمالی و ۵ درجه جنوبی پیش‌بینی شده است همان‌گونه دیده می‌شود در بخش غربی اقیانوس آرام شدت افزایش دما نسبت به ناحی شرقی آن بارزتر است (محور عمودی: ΔSST: تغییرات دما در سطح دریا). اقتباس از www.gfdl.noaa.gov.

Figure 3. Sea Surface Temperature Anomalies. The orange curve shows the predicted sea surface temperature anomalies between 5°N and 5°S. As can be seen, the temperature increase in the western Pacific is more pronounced than in the eastern region (vertical axis: ΔSST: sea surface temperature anomalies). Adapted from www.gfdl.noaa.gov.

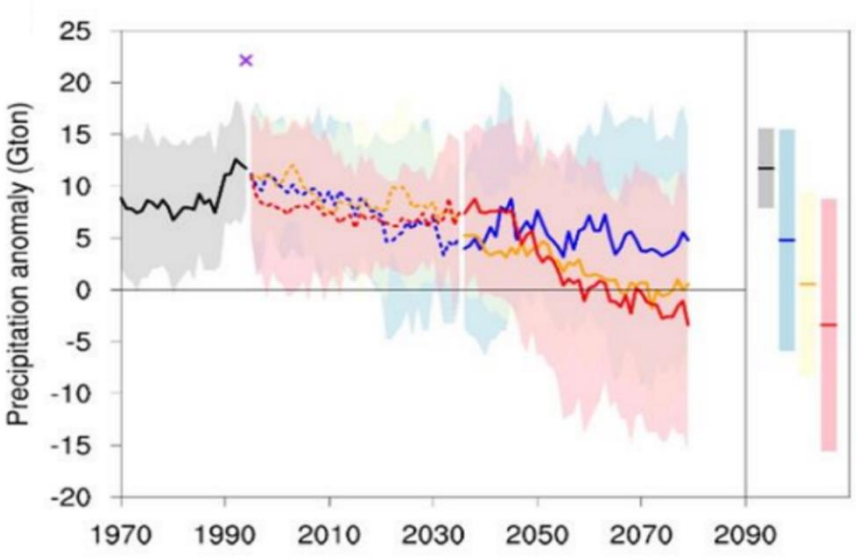
رابطه ENSO با تغییرات اقیمی در قطبی: رابطه بین ENSO و بارش در مناطق قطب جنوب غربی طی ٤١ سال گذشته (١٩٧٩–٢٠١٩) را می‌توان با در نظر گرفتن چرخه فصلی خلاصه کرد. در سال ٢٠١٦، غرب قطب جنوب در ماه فروردین تا خرداد حداقل ١٠٢/١ گیگا تن توده یخ را به دست آورد، که عمدتاً از تجمع انبوه توسط بارش تجمعی تقریبا ١٠٧/٦ گیگاتنی بود (شکل ٤). از نظر ناهنجاری، این میزان بارندگی ٤٨/٥ گیگا تن بیش‌تر از سال‌های عادی است که از ١/٦ انحراف استاندارد تغییرات بارندگی بیش‌تر است (شکل ٤). به‌طور مشابه، در سال ١٩٩٨، زمانی که ال‌نینوی قوی دیگری رخ داد، بارش غیرعادی شدید ٩/٩ گیگا تن در ماه فروردین تا خرداد مشاهده شد که ٢/٨ انحراف استاندارد تغییر بارش است (٧٨). این پدیده‌ها، اگرچه مستقیماً مربوط به آبزی‌پروری نیستند، اما می‌توانند بر افزایش سطح آب دریاها و تغییر الگوهای جریانی تأثیر بگذارند که به نوبه خود بر آبزی‌پروری ساحلی و دریایی تأثیرگذار است. ذوب شدن یخ قطب جنوب غرب به وضوح با ضریب همبستگی ٠/٤٦ به ال‌نینو پاسخ می‌دهد، اما یک تأخیر زمانی به دلیل تغییرات فصلی وجود دارد (٧٩). برقراری پیوند از راه دور به پیکربندی حالت میانگین اتمسفر بستگی دارد. ویژگی فصلی نیز این مورد را برای تغییرات بیش‌تر در ذوب یخ‌ها امکان‌پذیر می‌سازد (شکل ٥). علاوه‌بر این، ENSO همبستگی زیادی با بارندگی‌های ناشی از ال‌نینو (با ضریب همبستگی ٠/٥٣) در مقایسه با لانینا (با ضریب همبستگی ٠/٣٣) دارد. از این‌رو، در سال‌های با رخداد ال‌نینو، ناهنجاری‌های گردشی در نزدیک دریای آموندسن (Amundsen) ناشی از بروز پدیده ENSO به وجود آمده و تا سمت شرقی قطب تقویت و گسترش یافته است و رطوبت به‌طور کارآمدتری به سمت غرب منتقل می‌شود (٨٠). حرکت به سمت شرق به دلیل افزایش جریان همرفتی

پدیده ENSO در مرکز و شرق اقیانوس آرام ناشی از گرمایش جهانی است که به عنوان یک جابجایی به‌سمت شرق شناخته شده است (۹). این گونه پیش‌بینی می‌شود که انعطاف‌پذیری داخلی متغیرهای جوی در برابر از بین رفتن توده یخ قطب جنوب غربی در آینده افزایش خواهد یافت. این موضوع برای آبزی‌پروری اهمیت دارد، زیرا ذوب شدن یخ‌ها منجر به افزایش سطح آب دریاها می‌شود که می‌تواند بر زیرساخت‌های مزارع پرورش ماهی ساحلی، استخرهای پرورشی و حتی کیفیت آب در مناطق دهانه رودخانه‌ها تأثیر بگذارد. از سوی دیگر، اگر کربن رها شده در جو به حالت تعادل با مقدار جذب در بیاید و گرمایش جهانی تا سال ۳۱۰۰، زیر ۱/۶ درجه سانتی‌گراد حفظ شود، انتظار می‌رود انعطاف‌پذیری جوی با افزایش بارش برف ناشی از ال‌نینو برای جبران از دست دادن توده یخ ادامه یابد (۸۱). این سناریو می‌تواند پیامدهای متفاوتی برای آبزی‌پروری داشته باشد؛ در حالی‌که افزایش سطح آب دریا یک چالش است، افزایش بارش (برف در این مورد) می‌تواند به تجدید منابع آب شیرین (پس از ذوب شدن) کمک کند، که برای مزارع آبزی‌پروری داخلی بسیار مهم است. با این‌حال، نوسانات شدید در بارش می‌تواند منجر به سیلاب یا خشکسالی شود که هر دو برای صنعت آبزی‌پروری مخرب هستند. بنابراین، درک پیچیدگی‌های ENSO و تأثیر آن بر چرخه‌های آبی در مقیاس جهانی، برای برنامه‌ریزی استراتژیک و مدیریت ریسک در بخش آبزی‌پروری، به ویژه در مواجهه با تغییرات اقلیمی آینده، ضروری است.



شکل ٤- اثر تأخیری بر ریزش یخ‌های غرب قطب جنوب توسط El Nino قوی. تغییر توده یخ بر فراز قطب جنوب غربی، که از سال ۲۰۰۳ توسط ماهواره GRACE مشاهده شده، که روند ریزش یخ تخمینی حدود ۲۰۶/۳ گیگا تن در سال بوده است. سال‌های که ال‌نینو قوی (۱/۵ برابر انحراف استاندارد) روی داده با رنگ صورتی نشان داده شده است. شاخص Niño3 در DJF (پایین، نوار رنگ) و ناهنجاری بارش در غرب قطب جنوب در ماه‌های فروردین تا خرداد (پایین، خط). نوار صورتی که نمودار را پوشانده است نشان‌دهنده ال‌نینو قوی بیش از ۱/۵ انحراف استاندارد است. اقتباس از www.gfdl.noaa.gov.

Figure 4. Lagging Effect of Strong El Niño on West Antarctic Ice Loss. Change in ice mass over West Antarctica, observed by the GRACE satellite since 2003, with an estimated ice loss trend of approximately 206.3 gigatons per year. Years with a strong El Niño (1.5 times the standard deviation) are shown in pink. The Niño3 index in DJF (bottom, color bar) and precipitation anomaly in West Antarctica during the months of April to May (bottom, line). The pink bar overlaying the graph indicates a strong El Niño with an anomaly greater than 1.5 standard deviations. Adapted from www.gfdl.noaa.gov.



شکل ۵- تغییرات زمانی در ناهنجاری ذوب شدن یخ‌های قطبی ناشی از El Nino در گذشته (خط سیاه) و پیش‌بینی‌های آینده بر اساس سه سناریو (رنگ‌های قرمز، آبی و نارنجی). دوره‌های اولیه در پیش‌بینی‌های آینده که با پیش‌بینی تاریخی همپوشانی دارند، به صورت خطوط چین نشان داده می‌شوند. ناحیه سایه‌دار، گسترش بین مدلی است که با یک انحراف استاندارد بین مدل تخمین زده می‌شود. اقتباس از www.gfdl.noaa.gov.

Figure 5. Temporal Changes in Polar Ice Melt Anomaly Caused by El Niño. This graph shows the temporal changes in polar ice melt anomaly caused by El Niño, both historically (black line) and in future predictions based on three scenarios (red, blue, and orange lines). The initial periods in the future predictions that overlap with the historical data are shown as dashed lines. The shaded area represents the inter-model spread, which is estimated with a single standard deviation across the models. Adapted from www.gfdl.noaa.gov.

نتیجه‌گیری

پدیده ENSO یکی از مهم‌ترین عوامل تغییردهنده اقلیم جهانی است. رخداد دو فاز اصلی آن، ال‌نینو و لانینا، تغییراتی اساسی در توزیع زمانی و مکانی بارش‌ها ایجاد می‌کند. این تغییرات پیچیده‌تر در پیوند از راه دور ENSO و بارندگی، به وضوح در مناطقی از ایران قابل مشاهده است. از منظر آبزی‌پروری، این نوسانات اقلیمی پیامدهای مستقیمی بر منابع آبی و شرایط محیطی زیست‌گاه‌های پرورشی دارند. پیش‌بینی‌ها بیانگر آن است که برخی مناطق جنوب ایران در تابستان‌های تحت‌تأثیر ال‌نینو، شرایط خشک‌تری را تجربه خواهند کرد. این خشکی می‌تواند منجر به کاهش شدید منابع آب شیرین برای مزارع پرورش ماهی و میگو، افزایش شوری آب در مناطق ساحلی و رودخانه‌ای افزایش غلظت آلاینده‌ها و افزایش دمای آب در استخرها و تالاب‌ها شود که همگی برای سلامت و رشد آبزیان پرورشی مضر هستند (۸۲ و ۸۳). سپس، در پاییز، این مناطق تحت‌تأثیر رخداد لانینا قرار گرفته و برخی از آن‌ها ممکن است با طغیان رودخانه‌ها ناشی از بارندگی‌های شدید در رابطه پیوند از راه دور ENSO مواجه شوند. سیلاب‌ها می‌توانند زیرساخت‌های مزارع آبزی‌پروری آسیب رسانده و باعث فرار آبزیان و آبشویی ترکیبات سمی و فلزات سنگین شوند و منجر به آلودگی آب گردند (۸٤). در طی فصل زمستان، ENSO تأثیرات منفی بر مقدار بارندگی داشته و رخداد ال‌نینو سبب خشکی بیش‌تر در آن فصل خواهد شد. این کاهش بارش زمستانی می‌تواند منجر به کمبود ذخایر آبی برای فصول گرم‌تر شود که خود به نوبه خود، پایداری فعالیت‌های

آبزی‌پروری را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. از نظر دمای هوا در نزدیک سطح زمین، الگوی تضاد خشکی- دریا که ناشی از تشدید رخداد مثبت ENSO است، سبب بروز ناهنجاری‌های دمایی در نواحی دورتر از اقیانوس شده است. هم‌چنین تشدید پیوند از راه دور رویدادهای ENSO سبب تغییرات قابل‌ملاحظه دما خواهد شد. این نشان می‌دهد بروز پدیده ال‌نینو باعث افزایش ناهنجاری دمایی در زمستان در برخی مناطق ایران خواهد شد. افزایش دمای آب در زمستان می‌تواند بر چرخه زندگی گونه‌های آبزی سردآبی تأثیر بگذارد و آن‌ها را مستعد بیماری‌ها کند. در مقیاس جهانی نیز، تغییرات در برخی اقلیم‌های مورد مطالعه ناشی از بروز پدیده ENSO است. حتی این رخداد بر جریان‌های جوی که منجر به تغییراتی بر مقدار ذوب شدن یخ‌های قطب جنوب می‌شود نیز تأثیرگذار است. ذوب شدن یخ‌های قطبی می‌تواند به افزایش سطح آب دریاها و تغییر الگوهای اقیانوسی منجر شود که بر آبزی‌پروری دریایی و ساحلی (مانند پرورش صدف، میگو و ماهی در قفس) تأثیر خواهد گذاشت. بنابراین، با توجه به پیش‌بینی گرمایش زمین و نیز بروز پدیده ENSO، به‌کارگیری شیوه‌های مناسب سازگاری با تغییرات اقلیمی و کاهش تأثیرات تغییرات اقلیمی بر منابع طبیعی، به‌منظور تولید محصولات آبزی‌پروری و تضمین امنیت غذایی نقش به‌سزایی دارد. انتظار می‌رود با درک روابط بین متغیرهای اقلیمی، نسبت به توسعه استراتژی‌های سازگار و مدیریت منابع گام برداریم تا محدودیت‌های اقلیمی بر تولید محصولات آبزی‌پروری، تعادل هیدرولوژیکی و سایر اجزای سیستم‌های مرتبط با آب را کاهش دهیم. این استراتژی‌ها می‌توانند شامل انتخاب گونه‌های مقاوم به دما و شوری، توسعه سیستم‌های پرورشی با مصرف آب بهینه (مانند سیستم‌های مدار بسته)، بهبود سیستم‌های هشدار اولیه برای سیل و خشکسالی و تنوع‌بخشی به مناطق پرورشی باشند.

منابع

1. Zargari, A., Nejatian, M., Abbaszadeh, S., Jahanbin, K., Bagheri, T., Hedayati, A., & Sheykhi, M. (2023). Modulation of toxicity effects of $CuSO_4$ by sulfated polysaccharides extracted from brown algae (*Sargassum tenerrimum*) in *Danio rerio* as a model. *Scientific Reports*, 13(1), 11429.
2. Zargari, A., Mazandarani, M., Safari, R., Hoseinifar, H., & Hedayati, A. (2024). Modulation of toxic effects of ammonia on growth, pathology of liver and kidney tissues and relative expression of GH and IGF-1 Genes by CoQ_{10} Supplementation in *Oncorhynchus mykiss*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 50(4), 1711-1729.
3. Abkar, A. J., Habib Nejad Roshan, M., Solaimani, K., & Naghavi, H. (2014). Investigation efficiency SDSM model to simulate temperture indexes in arid and semi-arid regions. *Irrigation and Water Engineering*, 4(2), 1-17.
4. Bertrand, A., Lengaigne, M., Takahashi, K., Avadi, A., Poulain, F., & Harrod, C. (2020). El Niño Southern Oscillation (ENSO) effects on fisheries and aquaculture (Vol. 660). *Food & Agriculture Org.*
5. Khoshrou, A., Gandomkar, A., & Hajian, A. (2016). The study trend of maximum temperature in central Iran during the past half century its relationship with the North Atlantic Oscillation and South. *Geography (Regional Planning)*, 6(23), 19-34.
6. Azizi, G. (2000). El Niño and periods of drought and wetness in Iran. *Geographical Research*, 38.
7. Helali, J., Momenzadeh, H., Salimi, S., Hosseini, S. A., Lotfi, M., Mohamadi,

S. M., ... & Ahmadi, M. (2021). Synoptic-dynamic analysis of precipitation anomalies over Iran in different phases of ENSO. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(22), 2322.

8. IPCC (2019): "Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate," Authors: O. P ortner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. Weyer (eds.). *Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva (Switzerland)*. In press.
9. Cai, W., Santoso, A., Wang, G., Yeh, S. W., An, S. I., Cobb, K. M., ... & Wu, L. (2015). ENSO and greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 5(9), 849-859.
10. Anyanwu, C. N., Osuigwe, D. I., & Adaka, G. S. (2014). Climate change: impacts and threats on freshwater aquaculture.
11. Hamdan, R., Kari, F., & Othman, A. (2015). Biophysical Vulnerability Impact Assessment of Climate Change on Aquaculture Sector Development in Sarawak, Malaysia. *DLSU Business & Economics Review*, 24(2).
12. Shameem, M. I. M., Momtaz, S., & Kiem, A. S. (2015). Local perceptions of and adaptation to climate variability and change: the case of shrimp farming communities in the coastal region of Bangladesh. *Climatic Change*, 133(2), 253-266.
13. Dubey, S. K., Trivedi, R. K., Chand, B. K., Mandal, B., & Rout, S. K. (2017). Farmers' perceptions of climate change, impacts on freshwater aquaculture and adaptation strategies in climatic change hotspots: A case of the Indian Sundarban delta. *Environmental Development*, 21, 38-51.
14. Biju Kumar, A., Bhagyalekshmi, V., & Riyas, A. (2017). Climate change, fisheries and coastal ecosystems in India. *J. Aquat. Biol. Fish*, 5, 7-17.
15. Bueno, P. B., & Soto, D. (2017). Adaptation strategies of the aquaculture sector to the impacts of climate change12. *Coming Soon*, 99.
16. Shaffril, H. A. M., Samah, A. A., & D'Silva, J. L. (2017). Adapting towards climate change impacts: Strategies for small-scale fishermen in Malaysia. *Marine Policy*, 81, 196-201.
17. Adhikari, S., Chaudhury, A. K., Barlaya Gangadhar, B. G., Rathod Ramesh, R. R., Mandal, R. N., Ikmail Sarosh, I. S., ... & Sundaray, J. K. (2018). Adaptation and mitigation strategies of climate change impact in freshwater aquaculture in some states of India.
18. Islam, M. A., Akber, M. A., Ahmed, M., Rahman, M. M., & Rahman, M. R. (2019). Climate change adaptations of shrimp farmers: a case study from southwest coastal Bangladesh. *Climate and Development*, 11(6), 459-468.
19. Ahmad, N., Shaffril, H. A. M., Samah, A. A., Idris, K., Samah, B. A., & Hamdan, M. E. (2020). The adaptation towards climate change impacts among islanders in Malaysia. *Science of the Total Environment*, 699, 134404.
20. Falconer, L., Hjøllo, S. S., Telfer, T. C., McAdam, B. J., Hermansen, Ø., & Ytteborg, E. (2020). The importance of calibrating climate change projections to local conditions at aquaculture sites. *Aquaculture*, 514, 734487.
21. Lubembe, S. I., Turyasingura, B., & Chavula, P. (2022). Reflection on impacts of climate change on fisheries and aquaculture: sub-Sahara Africa. *weather*, 6(10), 62-72.
22. Rahman, A., Kanon, K. F., Islam, M. J., Mojumdar, S., Ashik, A. A., & Molla, M. H. R. (2022). Impacts of climate change on aquaculture and fisheries: an integrated approach for adaptation and mitigation. *Journal of Biological Studies*, 5(1), 171-188.
23. Ghosh, S., Maitra, S., & Pattanayak, R. (2024). Climate change impacts, vulnerabilities and adaptations of small scale aquaculture industry prevailing in a Ramsar Site Wetland of India.
24. Maulu, S., Hasimuna, O. J., Chibesa, M., Bbole, I., Mphande, J., Mwanachingwala, M., ... & Mweetwa, H. M. (2024).

Perceived effects of climate change on aquaculture production in Zambia: status, vulnerability factors, and adaptation strategies. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1348984.

25. Paul, P., Rahi, M. F., Saiquit, I. H., Sarower, M. G., Rouf, M. A., Parvez, M. S., ... & Rahman, S. M. (2024). Climate change effects on the small-scale fisheries in the northern part of bangladesh and associated adaptation measures. *Khulna University Studies*, 33-46.
26. Hossain, M. S., Zaman, B., Khan, M. A., Shihab, M. Y. K., & Nielsen, R. (2025). Impact of climate change and adaptation strategy in aquaculture: a systematic review. *Aquaculture International*, 33(5), 330.
27. Ahmed, N., Thompson, S., & Glaser, M. (2019). Global aquaculture productivity, environmental sustainability, and climate change adaptability. *Environmental management*, 63(2), 159-172.
28. Boer, R., & Surmaini, E. (2020). Economic benefits of ENSO information in crop management decisions: case study of rice farming in West Java, Indonesia. *Theoretical and Applied Climatology*, 139, 1435-1446.
29. McGregor, G. R., & Ebi, K. (2018). El Niño Southern Oscillation (ENSO) and health: an overview for climate and health researchers. *Atmosphere*, 9(7), 282.
30. Keener, V. W., Feyereisen, G. W., Lall, U., Jones, J. W., Bosch, D. D., & Lowrance, R. (2010). El-Niño/Southern Oscillation (ENSO) influences on monthly NO3 load and concentration, stream flow and precipitation in the Little River Watershed, Tifton, Georgia (GA). *Journal of hydrology*, 381(3-4), 352-363.
31. Chen, D., & Cane, M. A. (2008). El Niño prediction and predictability. *Journal of Computational Physics*, 227(7), 3625-3640.
32. Fasullo, J. T., Otto-Bliesner, B. L., & Stevenson, S. (2018). ENSO's changing influence on temperature, precipitation, and wildfire in a warming climate. *Geophysical Research Letters*, 45(17), 9216-9225.
33. Parker, G. (2013). Global crisis: war, climate and catastrophe in the seventeenth century. *Yale University Press*.
34. Cashin, P., Mohaddes, K., & Raissi, M. (2017). Fair weather or foul? The macroeconomic effects of El Niño. *Journal of International Economics*, 106, 37-54.
35. Hassan, W. U., & Nayak, M. A. (2020). Global teleconnections in droughts caused by oceanic and atmospheric circulation patterns. *Environmental Research Letters*, 16(1), 014007.
36. Smith, S. C., & Ubilava, D. (2017). The El Niño Southern Oscillation and economic growth in the developing world. *Global environmental change*, 45, 151-164.
37. Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2014). What do we learn from the weather? The new climate-economy literature. *Journal of Economic literature*, 52(3), 740-798.
38. Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Gimeno, L., Nieto, R., Morán-Tejeda, E., Lorenzo-Lacruz, J., ... & Azorin-Molina, C. (2011). A multiscalar global evaluation of the impact of ENSO on droughts. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D20).
39. Moron, V., & Plaut, G. (2003). The impact of El Niño-Southern Oscillation upon weather regimes over Europe and the North Atlantic during boreal winter. *International Journal of Climatology*, 23(4), 363-379.
40. Ghovidl Rahimi, Y. (2004). The teleconnection between ENSO phenomenon and autumn precipitation anomalies in East Azerbaijan Province. *Journal of Environment*, 56(1), 78-87. (Translated in Persian)
41. Gasalla, M. A., Abdallah, P. R., & Lemos, D. (2017). Potential impacts of climate change in Brazilian marine

fisheries and aquaculture. *Climate change impacts on fisheries and aquaculture: a global analysis*, 1, 455-477.

42. Yadav, N. K., Patel, A. B., Singh, S. K., Mehta, N. K., Anand, V., Lal, J., ... & Devi, N. C. (2024). Climate change effects on aquaculture production and its sustainable management through climate-resilient adaptation strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(22), 31731-31751.
43. Cuthbert, M. O., Taylor, R. G., Favreau, G., Todd, M. C., Shamsudduha, M., Villholth, K. G., ... & Kukuric, N. (2019). Observed controls on resilience of groundwater to climate variability in sub-Saharan Africa. *Nature*, 572(7768), 230-234.
44. National Ocean Service. 2020. US National Oceanographic and Atmospheric Administration. *Retrieved 11 September*.
45. Eskandari Torbaghan, M., & Fazeli Kakhki, S. F. (2021). An investigation of the effect of fertilizer enhancers on some yield components of wheat yield in the last irrigation cut in the field conditions. *Journal of Plant Process and Function*, 10(45), 89-106.
46. Fazeli, K. S. F., GOLDANI, M., & Bikzadeh, N. (2022). Response of two rapeseed cultivars (*Brassica napus L.*) in terms of growth indices, yield and yield components to method of nitrogen fertilizer application in Gonbad-e Qabus plain.
47. Fazeli Kakhki, S. F., & Beikzadeh, N. (2023). Effect of cytokinin on the number of capsules per leaf node in sesame under field conditions. *Agriculture, Environment & Society*, 3(2), 101-106.
48. Bogale, G. A., & Temesgen, T. (2021). Impacts and challenges of seasonal variabilities of El Niño and La Niña on crop and livestock production in the central rift valley of Ethiopia: A review. *Environment Pollution and Climate Change*, 5(199), 2.
49. Liu, Y., & Li, S. (2020). North–South discrepancy of interannual sea surface temperature anomalies over the South China sea associated with Eastern Pacific El Niño events in the spring. *Atmosphere*, 11(10), 1135.
50. Ern, R., Andreassen, A. H., & Jutfelt, F. (2023). Physiological mechanisms of acute upper thermal tolerance in fish. *Physiology*, 38(3), 141-158.
51. Taschetto, A. S., Ummenhofer, C. C., Stuecker, M. F., Dommenget, D., Ashok, K., Rodrigues, R. R., & Yeh, S. W. (2020). ENSO atmospheric teleconnections. *El Niño southern oscillation in a changing climate*, 309-335.
52. Shi, Y., & Su, J. (2020). A new equatorial oscillation index for better describing ENSO and westerly wind bursts. *Journal of Meteorological Research*, 34(5), 1025-1037.
53. McPhaden, M. J., Santoso, A., & Cai, W. (2020). Introduction to El Niño Southern Oscillation in a changing climate. *El Niño Southern Oscillation in a changing climate*, 1-19.
54. Argueta Mayorga, J. L., Castillo Montes, M. V., Bardales Espinoza, W. A., & Gálvez Sinibaldi, A. S. (2025). Regionalization of precipitation in Guatemala in climatology and El Niño-Southern Oscillation in its Niño, Niña, and neutral phases. *Atmósfera*, 39.
55. Alijani, B. (2002). Synoptic climatology. *SAMT Publications. (1st ed.). Tehran, Iran*. (Translated in Persian)
56. Fattahi, E., & Rahimzadeh, F. (2009). The relationship between ENSO and winter atmospheric circulation patterns over Iran. *Journal of Geography and Development*, 15, 21-44.
57. Wang, C. (2002). Atmospheric circulation cells associated with the El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Climate*, 15(4), 399-419.
58. Nazem Al-saadat, S. M. J. (1999). Investigation of the impact of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) on autumn precipitation in Iran. In Proceedings of the 2nd Regional Climate Change Conference. *Iran Meteorological*

Organization and National Center for Climate Studies, Tehran, Iran. (Translated in Persian)

59. Ghayour, H. A., & Khosravi, M. (2001). The impact of the ENSO phenomenon on anomalies of summer and autumn precipitation in southeastern Iran. *Geographic Research Quarterly*, 62. (Translated in Persian)
60. Najafpour, B., & Kianypour, M. (2012). Synoptic analysis of patterns of Siberian High pressure and Sudan low pressure during the ENSO phenomenon and its relation to rainfall anomalies in South and South-West of Iran. *Geographic Thought*, 6(12), 1-43.
61. Abdolmanafi, N. S. (2015). A study of the climatic dimensions of the global ENSO phenomenon and its impact on the climate of Iran. *Center for Research of the Islamic Consultative Assembly, Office of Infrastructure Studies*, Report No. 14617. (Translated in Persian)
62. Tartaglione, C. A., Smith, S. R., & O'Brien, J. J. (2003). ENSO impact on hurricane landfall probabilities for the Caribbean. *Journal of Climate*, 16(17), 2925-2931.
63. Power, S., Haylock, M., Colman, R., & Wang, X. (2006). The predictability of interdecadal changes in ENSO activity and ENSO teleconnections. *Journal of Climate*, 19(19), 4755-4771.
64. Wang, Z., Chang, C. P., & Wang, B. (2007). Impacts of El Niño and La Niña on the US climate during northern summer. *Journal of climate*, 20(10), 2165-2177.
65. Chand, S., & Dhaliwal, K. L. (2024). Relationship of ENSO and Standardized Precipitation Index (SPI) to characterize drought at different locations of Punjab, India. *Int. J. Environ. Clim. Change*, 14, 95-105.
66. Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J. L., Fichefet, T., Friedlingstein, P., ... & Booth, B. B. (2013). Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility. *In Climate change 2013-The physical science basis: Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (pp. 1029-1136). Cambridge University Press.
67. Overland, I., Sagbakken, H. F., Chan, H. Y., Merdekawati, M., Suryadi, B., Utama, N. A., & Vakulchuk, R. (2021). The ASEAN climate and energy paradox. *Energy and Climate Change*, 2, 100019.
68. Nguyen–Le, D. (2023). Projected ENSO teleconnection on the Southeast Asian climate under global warming. *Environmental Research Letters*, 19(1), 014001.
69. Liu, Z., Vavrus, S., He, F., Wen, N., & Zhong, Y. (2005). Rethinking tropical ocean response to global warming: The enhanced equatorial warming. *Journal of Climate*, 18(22), 4684-4700.
70. Kim, H., Timmermann, A., Lee, S. S., & Schloesser, F. (2023). Rainfall and salinity effects on future Pacific climate change. *Earth's Future*, 11(8), e2022EF003457.
71. Khanzadeh, M., Hoseinifar, S. H., Zargari, A., Tabibi, H., Van Doan, H., & Rabetimarghezar, N. (2024). Fucoidan derived from *Sargassum ilicifolium* affects growth and hemato-immunological parameters and antioxidant defense in Oscar (*Astronotus ocellatus*). *Frontiers in Marine Science*, 11, 1370871.
72. Khanzadeh, M., Hoseinifar, S. H., Zargari, A., & Van Doan, H. (2025). Effects of dietary supplements *Sargassum ilicifolium* and *Spirulina platensis* on growth parameters, immunity and gene expression in juvenile Asian seabass (*Lates calcarifer*). *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, 101689.
73. Yoon, J. H., Wang, S. S., Gillies, R. R., Kravitz, B., Hipps, L., & Rasch, P. J. (2015). Increasing water cycle extremes in California and in relation to ENSO cycle under global warming. *Nature Communications*, 6(1), 8657.

74. Feng, P., Wang, B., Luo, J. J., Li Liu, D., Waters, C., Ji, F., ... & Yu, Q. (2020). Using large-scale climate drivers to forecast meteorological drought condition in growing season across the Australian wheatbelt. *Science of the Total Environment*, 724, 138162.
75. Anderson, W. B., Seager, R., Baethgen, W., Cane, M., & You, L. (2019). Synchronous crop failures and climate-forced production variability. *Science advances*, 5(7), eaaw1976.
76. Barnston, A. G., Tippett, M. K., L'Heureux, M. L., Li, S., & DeWitt, D. G. (2012). Skill of real-time seasonal ENSO model predictions during 2002–11: Is our capability increasing?. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(5), 631-651.
77. Shuai, J., Zhang, Z., Tao, F., & Shi, P. (2016). How ENSO affects maize yields in China: understanding the impact mechanisms using a process-based crop model. *International Journal of Climatology*, 36(1).
78. Lee, H. J., & Jin, E. K. (2021). Seasonality and dynamics of atmospheric teleconnection from the tropical Indian ocean and the Western Pacific to West Antarctica. *Atmosphere*, 12(7), 849.
79. Sasgen, I., Dobslaw, H., Martinec, Z., & Thomas, M. (2010). Satellite gravimetry observation of Antarctic snow accumulation related to ENSO. *Earth and Planetary Science Letters*, 299(3-4), 352-358.
80. Wang, Y., Huang, G., Hu, K., Tao, W., Li, X., Gong, H., ... & Zhang, W. (2022). Asymmetric impacts of El Niño and La Niña on the Pacific–south America teleconnection pattern. *Journal of Climate*, 35(6), 1825-1838.
81. Thompson, A. F., Stewart, A. L., Spence, P., & Heywood, K. J. (2018). The Antarctic Slope Current in a changing climate. *Reviews of Geophysics*, 56(4), 741-770.
82. Barkhordar, M., Valizadeh, R., Bagheri, T., Taherimirghaed, A., & Hedayati, A. (2013). Detection of heavy metal biomarkers for study of fishes. *Journal of Novel Applied Sciences*, 2(7), 180-187.
83. Barkhordar, M., Valizadeh, R., Aghili, M., Taherimirghaed, A., Ghorbani, R., & Hedayati, A. (2013). Acute toxicity test of cypermethrine on common carp (Cyprinus carpio). *Int J Agric Sci Res.* 2(7), 234-237.
84. Sadeghi, S., Mousavi-Sabet, H., Hedayati, A., Zargari, A., Multisanti, C. R., & Faggio, C. (2024). Copper-oxide nanoparticles effects on goldfish (*Carassius auratus*): Lethal toxicity, haematological, and biochemical effects. *Veterinary Research Communications*, 48(3), 1611-1620.