Journal of Research in Environmental Health
Volume 10, Issue 4, Winter 2025

The Impact of Particulate Matter on Thyroid-Stimulating Hormone Levels in Pregnant Women in Ahvaz

Azizeh Shajravi
Environmental Science and Engineering Department, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
Atefeh Chamani
* Environmental Science and Engineering Department, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran. (Corresponding Author) atefehchamani@yahoo.com
Soheil Sobhanardakani
Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

Received: 2024/06/25
Accepted: 2024/11/21
Doi:10.22038/jreh.2025.25644

Abstract

Background & Purpose: Air pollution from particulate matter (PM) negatively impacts maternal and fetal health, particularly in pregnant women. This study aimed to evaluate the effects of PM on thyroid-stimulating hormone (TSH) levels in pregnant women residing in Ahvaz.
Materials and Methods: PM data were derived from the aerosol optical depth (AOD) product of the MODIS satellite, covering five years (April 1, 2019–March 21, 2024). Using biochemical assays, TSH levels were measured in 78 pregnant women during their third trimester. The relationship between TSH levels and PM levels specific to each mother's residence was analyzed using geographically weighted regression (GWR).
Results: The mean TSH level was 6.57 mIU/L (range: 0.3–39.3 mIU/L), exceeding the normal range for pregnant women. AOD values over the five years ranged from 0.28 to 0.39, with levels above 0.30 at the mothers' residences, indicating high PM pollution. The GWR model revealed that approximately 61% of the variation in TSH levels was attributable to the five-year average PM concentration.
Conclusion: High PM concentrations in parts of Ahvaz pose significant risks to maternal health during pregnancy. Air quality monitoring and specialized care are essential to protect pregnant women in this region.

Keywords: Aerosol Optical Depth, Remote Sensing, Thyroid Stimulating Hormone, Weighted Linear Regression

Open Access Policy: This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. To view a copy ofthis licence, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Citation: Shajravi A, Chamani A, Sobhanardakani S. The Impact of Particulate Matter on Thyroid-Stimulating Hormone Levels in Pregnant Women in Ahvaz**.** *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2025; 10(4):11-21.

ارزیابی تأثیر آلاینده ذرات‌معلق بر سطح هورمون تحریک‌کننده تیروئید در مادران باردار شهر اهواز

عزیزه شجراوی
گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
عاطفه چمنی
* گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران (نویسنده مسئول)
atefehchamani@yahoo.com
سهیل سبحان اردکانی
گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی هوایِ ناشی از ذرات‌معلق، به‌ویژه در مادران باردار می‌توانند بر سلامت مادر و جنین اثرات مخربی داشته باشند. از این‌رو، هدف این مطالعه بررسی تأثیر ذرات‌معلق بر سطح هورمون تحریک‌کننده‌ی تیروئید در مادران باردار شهر اهواز انجام شد.

مواد و روش‌ها: داده‌های مربوط به مقادیر ذرات‌معلق از محصول عمق نوری آئروسل سنجنده مودیس و به‌صورت میانگین پنج ساله اول فروردین ۱۳۹۸ تا اسفند ۱۴۰۲ استخراج شد. سطح هورمون تحریک‌کننده تیروئید نیز در ۷۸ مادر غربال‌شده در سه ماهه سوم بارداری با استفاده از آزمایش‌های بیوشیمیایی اندازه‌گیری و درنهایت رابطه آن‌ها با داده‌های ذرات‌معلق محل سکونت هر مادر با استفاده از رگرسیون وزنی جغرافیایی مورد پردازش قرار گرفت.

یافته‌ها: متوسط سطح هورمون تحریک‌کننده‌ی تیروئید در افراد مورد مطالعه برابر با ۶/۵۷ میلی‌واحد بر لیتر و در محدوده ۰/۳۰ تا حداکثر ۳۹/۳ میلی‌واحد بر لیتر قرار داشت که از محدوده‌های طبیعی در مادران باردار، بیشتر است. مقادیر عمق نوری آئروسل طی دوره‌ی پنج ساله در محدوده‌ی ۰/۲۸ تا ۰/۳۹ و در محل سکونت مادران باردار بیش‌تر از ۰/۳۰ به‌دست آمد که آلودگی بالای هوا به ذرات‌معلق را نشان داد. نتایج مدل رگرسیون نیز نشان داد که حدود ۶۱ درصد از تغییرات سطوح هورمون تحریک‌کننده‌ی تیروئید تحت تأثیر میانگین پنج‌ساله ذرات‌معلق اتمسفر بوده است.

نتیجه‌گیری: غلظت بالای ذرات‌معلق در برخی نقاط شهر اهواز می‌تواند تأثیرات منفی بر سلامت مادران باردار داشته باشد. از این‌رو، نظارت مداوم بر کیفیت هوا و ارائه مراقبت‌های ویژه در دوران بارداری در این شهر توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: عمق نوری آئروسل، سنجش از دور، هورمون تحریک‌کننده‌ی تیروئید، رگرسیون وزن‌دار خطی

استناد: شجراوی ع، چمنی ع، سبحان‌اردکانی س. ارزیابی تأثیر آلاینده ذرات‌معلق بر سطح هورمون تحریک‌کننده تیروئید در مادران باردار شهر اهواز. *فصلنامه‌ی پژوهش در بهداشت محیط*. زمستان ۱۴۰۳؛۱۰(۴): ۱۱-۲۱.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۱
نوع مقاله: پژوهشی

مقدمه

روند شهرنشینی در دهه‌های اخیر، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، به‌سرعت در حال افزایش بوده است. این افزایش نه‌تنها تحت تاثیر رشد جمعیت بوده، بلکه به‌دلیل تمایل مردم به مهاجرت از مناطق روستایی به مناطق شهری نیز شدت گرفته است (۱). اگرچه امروزه شهرنشینی به‌عنوان یکی از شاخص‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی در بسیاری از کشورها در نظر گرفته می‌شود، اما همزمان چالش‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی فراوانی را نیز به‌همراه داشته است. بروز انواع آلودگی محیط‌زیست ازجمله این چالش‌هاست که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پیامدهای ناگوار توسعه بی‌رویه شهرها شناخته می‌شود (۲). در بین انواع گوناگون آن، آلودگی هوا یکی از رایج‌ترین پیامدهای ناشی از توسعه روند شهرنشینی است. در حالی که گسترش شهرها موجب بهبود زیرساخت‌ها و افزایش دسترسی به خدمات می‌شود؛ اما، به‌طور همزمان باعث افزایش مصرف منابع‌طبیعی و انرژی، به‌ویژه سوخت‌های فسیلی شده است که این مسئله در نهایت، حجم زیادی از آلاینده‌ها را به اتمسفر شهری تخلیه خواهد کرد (۲).

یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های هوا، ذرات‌معلق هستند که آثار زیان‌بار آن‌ها بر سلامت انسان و محیط زیست شناخته شده است (۳). مطالعات مختلف نشان داده است که این ذرات می‌توانند باعث بروز مشکلات تنفسی، بیماری‌های قلبی-عروقی و تشدید بیماری‌های مزمن مانند آسم شوند. هم‌چنین، تأثیرات محیط‌زیستی آن‌ها شامل کاهش کیفیت هوا، آسیب به گیاهان و بوم‌سازگان‌ها و حتی تغییرات آب‌وهوایی است (۴). با توجه به این موارد، کنترل و کاهش سطح ذرات‌معلق به‌عنوان یکی از اولویت‌های سیاست‌گذاری‌های محیط‌زیستی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه مطرح شده است (۵). برای مقابله با چالش آلودگی هوای شهری، اولین گام شامل شناسایی و ارزیابی تغییرات غلظت آلاینده‌ها در گستره شهری است. خوشبختانه امروزه، روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری غلظت ذرات‌معلق در اتمسفر شهری استفاده می‌شود که به‌صورت کلی شامل استفاده از ایستگاه‌های زمینی (نمونه‌گیری مستقیم از هوا) و یا بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته مانند حس‌گرهای سنجش از دور هستند. در سال‌های اخیر استفاده از فناوری‌های سنجش از دور به‌عنوان یکی از جدیدترین و رایج‌ترین ابزارها برای اندازه‌گیری و نظارت بر غلظت ذرات‌معلق در جو شهری شناخته شده است. برای مثال، لوونگ، هیوو (۶) گزارش کردند که ارتباط مثبتی بین مقادیر فصلی شاخص‌های ماهواره‌ای گردوغبار و غلظت ذرات‌معلق مناطق شهری ویتنام وجود داشته است. بیلیل، ماویش (۷) نشان دادند که شاخص‌های ماهواره‌ای از توان بالایی برای پایش رشد شهر و افزایش منابع گردوغبار در شهرِ پکن برخوردار بوده‌اند. خان، گوپتا (۸) نیز با مقایسه بین مقدار شاخص‌های غلظت ذرات‌معلق ماهواره‌ای در داخل و خارج مناطق شهری گزارش کردند که به‌دلیل پایداری آلاینده‌های هوا در اتمسفر شهری و تحت تاثیر ویژگی‌های اقلیم محلی، تفاوت معنی‌داری بین غلظت ذرات‌معلق این دو ناحیه وجود داشته است.

با در اختیار داشتن اطلاعات جامع و سریع از آلودگی هوا، امکان بررسی اثرات سلامتی آن بر شهروندان میسر می‌شود که این موضوع می‌تواند به‌طور خاص برای گروه‌های حساس شهری مانند مادران باردار مفید باشد. ثابت شده است که با توجه به تغییرات فیزیولوژیکی که بانوان در دوران بارداری متحمل می‌شوند، این افراد به شدت نسبت به عوامل محیطی ازجمله آلودگی هوا آسیب‌پذیر خواهند شد (۹). در این شرایط، شواهد علمی نشان داده‌اند که آلودگی هوا می‌تواند تاثیرات جدی بر سلامت مادر و جنین داشته باشد و منجر به بروز مشکلات مختلفی در دوران بارداری و پس از تولد کودک شود که ازجمله می‌توان به زایمان‌زودرس، وزن کم هنگام تولد، و اختلالات رشد جنین اشاره کرد (۱۰). علاوه بر این، شواهدی نیز گزارش شده است که آلودگی هوا می‌تواند بر سیستم غدد درون‌ریز بانوان باردار نیز تاثیرگذار باشد (۱۱). در این بین، هورمون تحریک‌کننده‌ی تیروئید TSH [1] یکی از مهم‌ترین هورمون‌های تحت تاثیر آلودگی هوا است که توسط غده‌ی هیپوفیز تولید شده و وظیفه‌ی تنظیم عملکرد غده تیروئید را برعهده دارد. سطوح غیرطبیعی این هورمون در خون می‌تواند به اختلالات

[1] Thyroid Stimulating Hormone

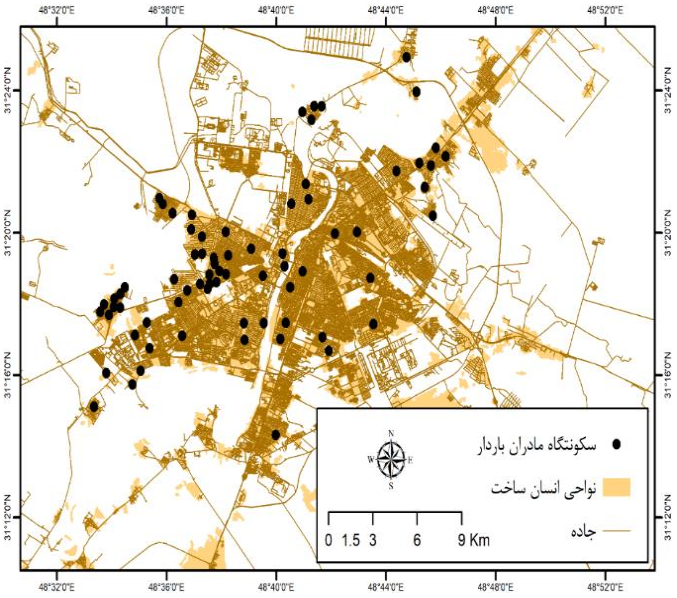
تیروئید منجر شده و به‌خصوص در دوران بارداری، اثرات مهمی بر سلامت مادر و جنین برجای گذارد. برای مثال، مولتی، دی‌مارو (۱۲) نشان دادند که با بروز اختلالات تیروئید در مادران باردار، احتمال مواجهه با سقط جنین نیز افزایش خواهد یافت. یوسف‌زاده، چمنی (۱۳) نیز نشان دادند که اختلال در ترشح TSH در مناطق شهری آلوده با استرس‌های اکسیداتیو همراه خواهد بود و می‌تواند بیش از پیش سلامت مادران باردار را با خطر مواجه کند.

به‌دلیل اهمیت آلودگی هوای شهری و اثر آن بر سلامتی گروه‌های حساس، به‌خصوص مادران باردار، افزایش آگاهی از چگونگی اثر ذرات‌معلق بر فرایندهای بیوشیمیایی این افراد لازم و ضروری است. در راستای مطالعات پیشین، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر ذرات‌معلق بر زنان باردار در شهر اهواز به‌عنوان یکی از آلوده‌ترین کلان‌شهرهای جهان، انجام شد. برای دریافت داده‌های مربوط به ذرات‌معلق، از داده‌های عمق نوری آئروسل و به‌صورت میانگین پنج ساله استفاده شد. هم‌چنین، مادران بارداری که شرایط فیزیولوژیکی و اجتماعی مشابهی داشتند، غربالگری شدند تا سطح TSH خون آن‌ها اندازه‌گیری شود. درنهایت برای درک بهتر چگونگی تغییرات هورمونی این مادران در ارتباط با تراکم ذرات‌معلق محل زندگی آن‌ها، از روش رگرسیون وزنی جغرافیایی استفاده شد تا تصویر جامعی از تأثیرات مکانی و فضایی ذرات‌معلق بر سلامت این گروه حساس برای اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مناسب حاصل شود.

روش کار

منطقه‌ی مورد مطالعه

اهواز، مرکز استان خوزستان، با مساحت تقریبی ۸۰۰۰ کیلومترمربع، بزرگترین شهر جنوب‌غربی ایران است که در ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض‌شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی، در ارتفاع ۱۸ متر بالاتر از سطح دریا قرار گرفته است (**شکل ۱**). بر اساس سرشماری سازمان آمار کشور در سال ۱۳۹۵، جمعیت این شهر بالغ بر ۱۳۰۰۰۰۰ نفر برآورد شده است که در رتبه‌ی هفتم شهرهای پرجمعیت ایران قرار می‌گیرد. به‌دلیل قرارگیری در غرب رشته‌کوه زاگرس و هم‌جواری با منابع اصلی پدیده‌های گردوغبار در خاورمیانه که از کشورهای عراق، عربستان‌سعودی و کویت سرچشمه می‌گیرند، غلظت ذرات‌معلق در این شهر بسیار بالا است. علاوه بر این، پوشش گیاهی کم، وزش بادهای شدید، دما و رطوبت بالا از دیگر ویژگی‌های دیگری هستند که موجب پایداری ذرات‌معلق در اتمسفر شهر می‌شوند. متوسط غلظت ذرات‌معلق این شهر بالغ بر ۶۰ میکروگرم بر مترمکعب برآورد شده است. متوسط دمای سالانه اهواز نیز برابر با ۲۵/۳ درجه سلسیوس ثبت شده است و متوسط رطوبت سالانه این شهر نیز به بیش تر از ۸۰ درصد می‌رسد (۱۴).



شکل ۱. توزیع مکانی نواحی انسان‌ساخت، جاده‌ها و سکونتگاه مادران باردار در شهر اهواز

انتخاب و تحلیل بیوشیمیایی مادران باردار

پایش مادران باردار در شهر اهواز در سال ۱۴۰۲ انجام یافت تا بتوان بیش‌ترین تعداد مادرانی که از نظر شرایط فیزیولوژیکی و اجتماعی شبیه به هم هستند را انتخاب کرد. برای این منظور، در ابتدا، همه مادرانی که سابقه بیماری‌های قلبی-عروقی یا سایر بیماری‌های مزمن داشتند، و این موضوع می‌توانست بر عملکرد بدن و نتایج این مطالعه تأثیر بگذارد، از روند پژوهش حذف شدند. هم‌چنین، مادرانی نیز که شاخص توده بدنی آن‌ها در محدوده‌ی اضافه‌وزن و چاق بود، کنار گذاشته شدند. سپس، مادران منتخب مورد بررسی شفاهی قرار گرفتند تا افرادی که دخانیات استعمال کرده یا عموماً در معرض دود آن قرار داشتند نیز از روند پژوهش

کنار گذاشته شوند. پس از آن، افرادی که در پنج سال گذشته محل زندگی خود را تغییر داده بودند، شناسایی و حذف شدند. از طرفی، افرادی که به‌واسطه کار یا فعالیت‌های خارج از خانه به‌طور معمول در کل سطح شهر تردد داشتند نیز از روند پژوهش حذف شدند. در نهایت، اطمینان حاصل شد که همه‌ی شرکت‌کنندگان از سبک زندگی و عادات غذایی به‌نسبت مشابه، به‌خصوص مصرف بالای کربوهیدرات و مصرف متوسط تا پایین گوشت پیروی می‌کنند.

درنهایت ۷۸ مورد از مادران که نوزادان آن‌ها که بین ۲۱ دی تا ۵ اسفند ۱۴۰۲ متولد شده بودند، انتخاب شدند. سن مادران بین ۱۴ تا ۳۸ سال با میانگین سنی ۶/۱۸ ± ۲۵/۴ بود که نشان‌دهنده‌ی انحراف معیار قابل قبول است. هیچ‌یک از مادران قبل از بارداری دارای اضافه‌وزن یا چاقی نبودند و میانگین شاخص توده‌ی بدنی آن‌ها کوچک‌تر از ۲۵ کیلوگرم بر مترمربع بود. نسبت نوزادان پسر به دختر تقریباً ۱:۱ بود، به‌طوری که ۴۷٪ نوزادان متولدشده پسر و ۵۳٪ آن‌ها نیز دختر بودند. همه‌ی نوزادان به‌صورت طبیعی به دنیا آمدند و در وضعیت سلامتی و شرایط جسمانی طبیعی با میانگین وزن ۰/۴۱۶ ± ۳/۳۸ قرار داشتند.

برای انجام تحلیل بیوشیمیایی، نمونه‌های خونی (۴ میلی‌لیتر) از مادران منتخب در زمان زایمان دریافت و غلظت TSH آن‌ها با استفاده از دستگاه Selectra Pro XL Automatic Biochemistry Analyzer مورد سنجش قرار گرفت. اندازه‌گیری‌ها مطابق با استانداردها و دستورالعمل‌های اخلاقی تصویب‌شده توسط کمیته‌ی اخلاق در پژوهش واحد اصفهان دانشگاه آزاد اسلامی با کد IR.IAU.KHUISF.REC.1402.285 انجام شدند.

استخراج شاخص ماهواره‌ای گردوغبار

تصاویر ماهواره‌ای این امکان را به‌وجود آورده‌اند که به سرعت و در زمان کم، محتوای ذرات گردوغبار در اتمسفر را در طول زمان‌های مختلف به‌دست آوریم. لذا در این تحقیق، از داده‌های عمق نوری آئروسلِ ابزار تصویربرداری با وضوح متوسط (مودیس) که بر روی ماهواره‌های آکوا و ترا قرار دارند، استفاده شد. این داده‌ها به‌صورت روزانه در عمق نوری ۴۷۰ نانومتر برداشت شده و قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر را در اختیار کاربر قرار می‌دهد (۱۵). مقادیر این شاخص به‌عنوان یک نمایه کمی برای محتوای ذرات‌معلق عمل می‌کند، به‌طوری‌که با افزایش غلظت ذرات‌معلق اتمسفر، مقادیر آن نیز افزایش پیدا می‌کند. این لایه‌ها از آرشیو سامانه گوگل ارث انجین (۱۶) برای یک دوره ۵ ساله از تاریخ اول فروردین ۱۳۹۸ تا اسفند ۱۴۰۲ فراخوانی شدند. سپس، از فیلتر میانگین استفاده شد تا متوسط طولانی‌مدت غلظت ذرات‌معلق برای دوره مدنظر تولید شود.

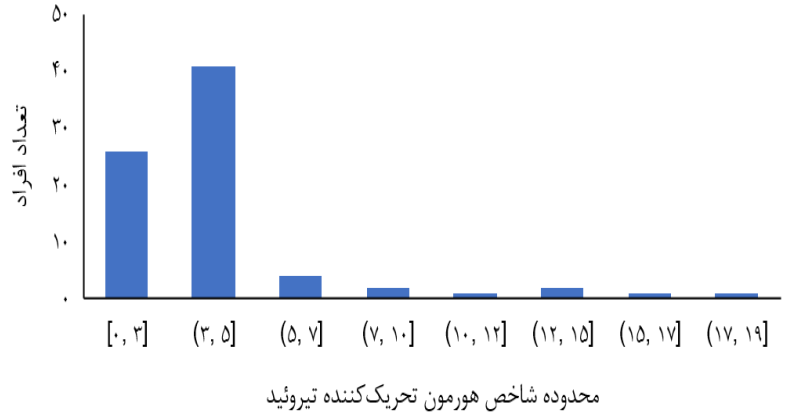
مدل‌سازی ارتباط بین غلظت هورمون تحریک‌کننده‌ی تیروئید و گردوغبار

در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی قابلیت پیش‌بینی TSH در زنان باردار از داده‌های جذب آئروسل ماهواره‌ای سنجنده مودیس استفاده شد. بر این اساس و به‌دلیل ماهیت مکانی لایه‌های مورد استفاده، از مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی استفاده شد. مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی یکی از مدل‌های رگرسیونی است که به تحلیل روابط مکانی بین متغیرها می‌پردازد. در این مدل، وزن هر داده بر اساس فاصله مکانی آن از سایر داده‌ها تعیین می‌شود. به‌عبارت دیگر، این مدل امکان تغییر روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته در نقاط مختلف فضای دوبعدی را فراهم می‌آورد. این موضوع باعث می‌شود که مدل به‌جای ارائه یک رابطه‌ی خطی ثابت در کل منطقه‌ی موردمطالعه، به طور محلی برای هر نقطه، ضرایب متفاوتی را تخمین بزند (۱۷). شاخص‌های کلیدی این مدل شامل مقادیر ضریب تعیین جهانی و محلی است که میزان تناسب پیش‌بینی‌های مدل داده‌های واقعی را نشان می‌دهد. ضریب تعیین جهانی به کل منطقه‌ی مطالعه اشاره دارد و بیان می‌کند که چه میزان از واریانس داده‌ها توسط مدل توضیح داده می‌شود، در حالی که ضریب تعیین جهانی محلی این مقدار را برای هر موقعیت مکانی به‌طور جداگانه محاسبه می‌کند (۱۷). علاوه بر ضریب تعیین، پراکندگی باقی‌مانده‌ها برای تحلیل نتایج مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها

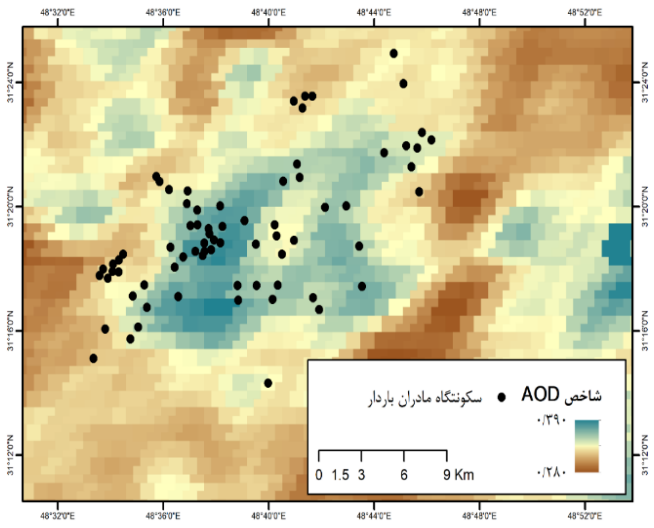
مقادیر TSH در ۷۸ مادر باردار منتخب در سه‌ماهه سوم بارداری در **نمودار ۱** آورده شده است. سطح هورمون در این

افراد از حداقل ۰/۳۰ تا حداکثر ۳۹/۳ میلی‌واحد بر لیتر متغیر بود. میانگین سطح هورمون نیز برابر با ۶/۵۷ میلی‌واحد بر لیتر با انحراف معیار ۶/۸۲ بود. توزیع سطح TSH چولگی مثبت را نشان داد، به این صورت که مقادیر بالاتر در تعداد کمی از افراد، میانگین کلی این هورمون را تحت تأثیر قرار داده است.



نمودار۱. فراوانی محدوده‌های شاخص هورمون تحریک‌کننده تیروئید در مادران باردار

لایه عمق نوری آئروسل با میانگین‌گیری از همه لایه‌های مربوط به پنج سال گذشته تا پایان سال ۱۴۰۲ تولید شدند **(شکل ۲)**. مقادیر عمق نوری آئروسل در محدوده نشان داده شده در **شکل ۲** بین ۰/۲۸۰ تا ۰/۳۹۰ و در نقاط سکونت مادران باردار بین ۰/۳۰۵ تا ۰/۳۶۵ با متوسط ۰/۳۳۱ ± ۰/۱۴۲ قرار داشت. توزیع مکانی عمق نوری آئروسل شباهت زیادی به توزیع شهر اهواز دارد، به‌طوری که مقادیر بالای عمق نوری آئروسل در داخل محدوده‌ی شهر اهواز متمرکز شده که به‌تدریج به سمت مناطق بایر و بیرونی شهر، روند کاهشی را نشان می‌دهد. این الگو نشان‌دهنده‌ی تمرکز و غلظت بیش‌تر آلودگی ذرات‌معلق در شهر و تأثیر کم‌تر آن در نواحی اطراف فاقد پوشش گیاهی و واجد جمعیت اندک حاشیه‌ای است. بر اساس نتایج مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی ضریب تعیین جهانی برابر با ۰/۶۱۳ و ضریب تعیین تعدیل‌شده برابر با ۰/۶۰۸ حاصل شد **(جدول ۱)**. این مقادیر بیان‌گر آن است که مدل توانسته است تقریباً ۶۱/۳ درصد از تغییرات در سطح TSH مادران باردار را بر اساس میانگین پنج‌ساله عمق نوری آئروسل توضیح دهد. هم‌چنین، پس از تعدیل برای تعداد متغیرها و اندازه نمونه، این مقدار به ۶۰/۸ درصد کاهش یافته است که هم‌چنان نشان‌دهنده‌ی اثربخشی قابل‌قبول مدل با در نظرگرفتن پیچیدگی آن است. مقدار معیار اطلاعاتی آکائیکه[2] نیز برابر با ۱۵۶ و جمع مربعات باقی‌مانده‌ها نیز برابر با ۲۵۴ به‌دست آمد. میزان دقت پیش‌بینی مدل در نقاط مختلف با استفاده از شاخص سیگما نیز برابر با ۰/۴۳ به‌دست آمد. نتایج تجزیه‌وتحلیل باقی‌مانده‌ها حاکی از مقدار میانه ۰/۸۵۱- است که این مقدار پراکندگی متعادل تخمین‌ها را نمایندگی می‌کند.



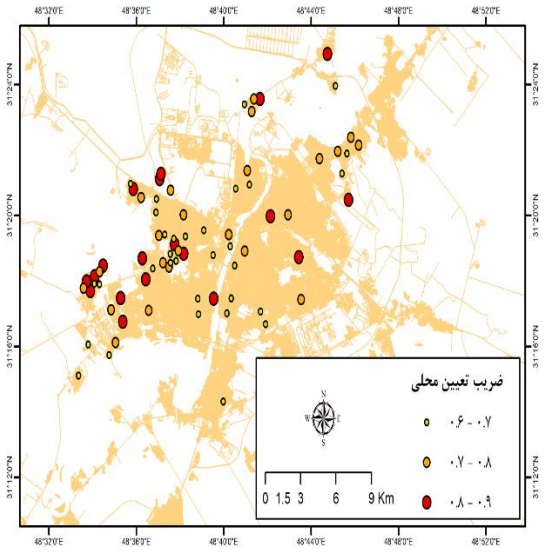
[2] Akaike Information Criterion

شکل ۲. لایه مقدار میانگین پنج‌ساله داده‌های عمق نوری آئروسل سنجنده مودیس از تاریخ اول فروردین ۱۳۹۸ تا اسفند ۱۴۰۲

با این‌حال، دامنه‌ی وسیع مقادیر باقی‌مانده بین دو مقدار ۷/۲۷ – و ۱۷/۶ گویای این است که در برخی موارد، به‌خصوص مقادیر سطح هورمون بسیار زیاد، مدل مورد استفاده اختلاف بسیار زیادی با مقدار واقعی داشته است؛ ولی با این‌حال قرارگیری مقدار میانه پیرامون عدد صفر، تاکیدی بر قابل‌قبول بودن نتایج است. متوسط مقادیر ضرایب نشان داد که با افزایش یک واحد در ضریب مدل، سطح TSH به‌طور مثبت و به‌میزان ۲/۳۵ افزایش یافته است. چنان‌چه در **شکل ۳** نشان داده شده است، مدل مورد استفاده در بخش‌های مرکزی و برخی از مناطق غربی و جنوبی اهواز، عملکرد بهتری داشته و توانسته است مقادیر TSH را با دقت بیشتری تبیین کند. اما، در برخی از مناطق شمالی و شرقی شهر، مدل قدرت تبیین کمتری از خود نشان داده است که می‌تواند با توزیع فضایی آلاینده‌ها و تأثیرات منطقه‌ای مرتبط باشد. به‌طور کلی، توزیع فضایی مشخص در پراکندگی مقادیر ضریب تعیین محلی مشاهده نشد.

جدول ۱. آماره‌های مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی در پیش‌بینی سطح هورمون تحریک‌کننده‌ی تیروئید مادران باردار بر اساس میانگین پنج‌ساله داده‌های عمق نوری آئروسل سنجنده مودیس

متغیر		مقدار
ضریب تعیین جهانی		۰/۶۳۱
ضریب تعیین تطبیقی		۰/۶۰۸
شاخص AIC		۱۵۶
باقی مانده مجموع مربعات		۲۵۴
شاخص سیگما		۰/۴۳۰
باقی مانده	حداقل	- ۷/۲۴
	میانه	- ۰/۸۵۱
	حداکثر	۱۷/۶
متوسط مقدار ضرایب	عرض از مبدا	۰/۵۴۰
	بتا	۲/۳۵



شکل ۳. مقادیر ضریب تعیین محلی برای هر یک از نمونه‌های مورد بررسی با استفاده از مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی

بحث

در این مطالعه، ۷۸ مادر باردار با محدوده‌ی سنی ۱۴ تا ۳۸ سال برای تعیین اثر گردوغبار بر روی کارکرد تیروئید مورد بررسی قرار گرفتند.. نتایج نشان داد که اگرچه در این دامنه سنی گسترده، مادران بسیار جوان (۱۴ ساله) تا مادران در سنین بالاتر (۳۸ ساله) حضور داشتند؛ اما، مقدار TSH آن‌ها تحت تاثیر سن قرار نداشت و هم‌چنین، میانگین سنی آن‌ها (۲۵/۴ سال) در محدوده‌ی مناسب که نشان‌دهنده رده سنی جوان است، قرار گرفت. در این مطالعه، سطوح TSH به‌طور متوسط ۶/۵۷ میلی‌واحد در لیتر در برخی از مادران تا نزدیک ۴۰ میلی‌واحد در لیتر نیز به‌دست آمد. این یافته‌ها در مقایسه با محدوده‌های معمول سطوح TSH در دوران بارداری کمی نگران‌کننده به‌نظر می‌رسند. مطالعه ژانگ و همکاران (۱۱) نشان داد که محدوده‌ی این شاخص در نواحی بسیار آلوده مانند نانجیان چین حداکثر تا مقادیر ۳/۸۹ میلی‌واحد بر لیتر افزایش یافته است. این درحالی است که مقادیر قابل‌قبول برای این شاخص توسط اتحادیه تیروئید آمریکا (۲۰۱۲) برای مادران باردار در سه ماهه اول برابر با ۲/۵ میلی‌واحد بر لیتر و در سه ماهه‌های بعدی حداکثر برابر با ۳/۰ میلی‌واحد بر لیتر تعیین شده است. مطالعات مختلفی نشان دادند که سطوح بالاتر هورمون می‌تواند باعث بروز مشکلات قلبی (ضربان نامنظم) اختلالات

عصبی، کاهش شدید وزن جنین و در مواردی موجب سقط جنین نوزاد شود (۱۲, ۱۸, ۱۹).

اگرچه عوامل متعددی ازجمله کمبود ید و اختلالات تیروئید خودایمنی مانند تیروئیدیت هاشیموتو بر اختلال عملکرد تیروئید اثرگذار هستند (۲۰)؛ اما، مطالعات متعددی نشان داده‌اند که این تغییرات می‌تواند تحت اثر عوامل محیطی ازجمله آلودگی هوا نیز باشند. این موضوع به‌خصوص در شهر اهواز که آلودگی هوا به‌دلیل حضور ذرات‌معلق بسیار بالا است، بسیار محتمل است. نتایج حاصل از عمق نوری آئروسل طی دوره‌ی پنج ساله‌ی اخیر در محدوده‌ی ۰/۲۸ تا ۰/۳۹ و در محل سکونت مادران باردار بیش‌تر از ۰/۳۰ به‌دست آمد. بر اساس تقسیم‌بندی کلوزر و هولزر (۲۱)، مقادیر کم‌تر از ۰/۱۰ این شاخص بیان‌گر هوای تمیز است و با افزایش مقادیر آن، به تدریج بر غلظت ذرات‌معلق هوا افزوده شده و در مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۳۰، می‌توان اذعان داشت که هوا واجد حجم بسیار زیاد ذرات‌معلق است. این نتیجه هم‌سو با مطالعات متعددی است که شهر اهواز را به‌عنوان یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان از منظر حضور ذرات‌معلق طبقه‌بندی کرده‌اند (۲۲). با این‌حال، لایه‌ی متوسط پنج ساله نشان داد که مقادیر عددی این شاخص در مرکز شهر اهواز به‌مراتب بزرگ‌تر بوده است. تفاوت قابل توجه بین مقدار این شاخص در داخل و خارج شهر را می‌توان با تمرکز بالای فعالیت‌های انسانی در داخل شهر و منابع متعدد تولید ذرات‌معلق به‌خصوص شبکه‌ی حمل‌ونقل شهری مرتبط دانست. هرچند که بر اساس مشاهدات گپتا و همکاران (۸)، نمی‌توان از تاثیر پایداری آلاینده‌ها در اتمسفر شهری تحت‌تاثیر ویژگی‌های اقلیم محلی در بروز این تفاوت چشم‌پوشی کرد .

در این مطالعه، ارتباط معنادار جغرافیایی بین سطوح TSHو عمق نوری آئروسل طی دوره‌ی پنج ساله‌ی اخیر به اثبات رسید. بر این اساس ، حدود ۶۱ درصد از تغییرات در سطوح این هورمون در مادران باردار تحت‌تاثیر میانگین پنج‌ساله ذرات‌معلق اتمسفر بوده است که این یافته‌ها با تحقیقات اخیر که ارتباط بین آلودگی هوا و اختلالات تیروئید را نشان می‌دهند، هم‌خوانی دارد. برای مثال، مطالعه‌ی ژانگ (۲۳) که بر روی بیش‌تر از ۱۵ هزار مادر باردار در چین انجام گرفت، نشان داد که به‌ازای افزایش هر ۱۰ گرم بر مترمکعب ذرات‌معلق در هوا، احتمال افزایش سطح هورمون‌های تیروئید ممکن است تا ۱۵ درصد افزایش یابد. از سوی دیگر، مطالعه‌ی لیو و وانگ (۲۴) نیز نشان داد که نه‌تنها در مادران باردار، بلکه در جنین مادرانی که در مناطق با آلودگی زیاد به ذرات‌معلق زندگی کرده‌اند نیز ممکن است عملکرد تیروئید تحت‌تاثیر قرار بگیرد. بر اساس نظر یانگ و ژانگ (۲۵)، رفت‌وآمد پایین مادران باردار در شهر و حضور بیشتر آن‌ها در محدوده‌ی محل سکونت باعث شده است تا غلظت ذرات‌معلق در محدوده‌های با مقیاس سلولی کمتر از ۱۰۰۰ متر، برای حصول نتایج معتبر در رگرسیون‌های وزن‌دار جغرافیایی مناسب باشد. در این صورت، انتخاب محل زندگی در سال‌های منتها به بارداری از اهمیت بالایی در سلامتی این افراد و نوزادان آن‌ها برخوردار خواهد بود. هم‌چنین این نتایج نشان‌دهنده‌ی نیاز به پایش مستمر آلودگی هوا برای مراقبت‌های بارداری، به‌ویژه در مناطقی با آلودگی هوای بالا مانند اهواز است. به‌عبارت دیگر، سطوح بالای TSH و همبستگی قوی آن با عمق نوری آئروسل، نیاز به مراقبت‌های بارداری جامع در شهر اهواز و لزوم اتخاذ سیاست‌های بهداشت عمومی، برنامه‌ریزی شهری، پایش مستمر آلودگی هوا و مدیریت سلامت فردی در دوران بارداری را نمایان می‌کند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی تأثیر آلودگی هوا بر TSH سه ماهه‌ی سوم مادران باردار در شهر اهواز پرداخته شد. بر این اساس، سطوح TSH در مادران باردار بسیار بالا بود که در مقایسه با استانداردهای جهانی نگران‌کننده به‌نظر می‌رسد. هم‌چنین، یافته‌ها نشان داد که حدود ۶۱ درصد از تغییرات TSH در مادران باردار با متوسط طولانی‌مدت غلظت ذرات‌معلق در ارتباط است که تاثیر مستقیم و معنادار آلودگی هوا بر سلامت مادران باردار در این شهر را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که مقادیر بالای TSH می‌تواند منجر به عوارض جدی در بارداری مانند وزن پایین نوزاد، زایمان‌زودرس و حتی سقط جنین شود، پایش مدون آلودگی هوا در مناطق پرخطر به‌خصوص در مناطق مرکزی شهر و اتخاذ تدابیر بهداشتی مناسب در مراقبت‌های دوران

بارداری توصیه می‌شود. علاوه بر این، تدوین سیاست‌های شهری مناسب برای کاهش منابع آلاینده، ارتقای سیستم‌های پایش آلودگی هوا و افزایش آگاهی عمومی از اهمیت مدیریت بهداشتی در دوران بارداری نیز برای بهبود شرایط موجود ضروری است. پیشنهاد می‌شود تا در مطالعات آینده از ترکیبی از اطلاعات زمینی و ماهواره‌ای برای شناسایی غلظت ذرات‌معلق استفاده شود. هم‌چنین بررسی فصلی و ماهانه غلظت ذرات‌معلق و تطابق بیشینه‌های غلظت ذرات‌معلق با سه ماهه‌های مختلف بارداری می‌تواند به نتایج بهتری در زمین اثر آلاینده‌ها هوا بر کارکردهای بیوشیمیایی مادران باردار منجر شود.

تشکر و قدردانی: این مقاله حاصل بخشی از رساله‌ی مقطع دکترا است که با حمایت گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان) صورت گرفته است. بدین‌وسیله از تمام افرادی که ما را در انجام این پژوهش یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

تعارض منافع: نویسندگان هر گونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

حمایت مالی: این مقاله حاصل بخشی از رساله مقطع دکتری است که با حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان) صورت گرفته است.

ملاحظات اخلاقی: اندازه‌گیری‌ها مطابق با استانداردها و دستورالعمل‌های اخلاقی تصویب‌شده توسط کمیته‌ی اخلاق در پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان(خوراسگان) با کد IR.IAU.KHUISF.REC.1402.285 انجام شدند. هم‌چنین نویسندگان تمامی نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

سهم نویسندگان: عزیزه شجراوی: نمونه‌گیری و آنالیزهای آزمایشگاهی، نگارش پیش‌نویس مقاله. عاطفه چمنی: ایده‌سازی پژوهش و طراحی آزمایش و نگارش مقاله. سهیل سبحان اردکانی: طراحی و تحلیل آماری، نگارش مقاله

References

1. Gross J, Ouyang Y. Types of urbanization and economic growth. Int J Urban Sci. 2021;25(1):71-85. doi:10.1080/12265934.2020.1759447
2. Wang S, Gao S, Li S, Feng K. Strategizing the relation between urbanization and air pollution: Empirical evidence from global countries. J Clean Prod. 2020;243:118615. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118615
3. Ysebaert T, Koch K, Samson R, Denys S. Green walls for mitigating urban particulate matter pollution-A review. Urban For Urban Green. 2021;59:127014. doi:10.1016/j.ufug.2021.127014
4. Kaur R, Pandey P. Air pollution, climate change, and human health in Indian cities: a brief review. Front Sustain Cities. 2021;3:705131. doi:10.3389/frsc.2021.705131
5. Blackman A. Alternative pollution control policies in developing countries. Chicago: The University of Chicago Press; 2010. doi:10.1093/reep/req005
6. Luong ND, Hieu BT, Hiep NH. Contrasting seasonal pattern between ground-based PM 2.5 and MODIS satellite-based aerosol optical depth (AOD) at an urban site in Hanoi, Vietnam. Environ Sci Pollut Res. 2021;1-12. doi:10.1007/s11356-021-16464-z
7. Bilal M, Mhawish A, Ali MA, Nichol JE, Leeuw Gd, Khedher KM, et al. Integration of surface reflectance and aerosol retrieval algorithms for multi-resolution aerosol optical depth retrievals over urban areas. Remote Sens. 2022;14(2):373. doi:10.3390/rs14020373

8. Gupta P, Khan MN, da Silva A, Patadia F. MODIS aerosol optical depth observations over urban areas in Pakistan: quantity and quality of the data for air quality monitoring. Atmos Pollut Res. 2013;4(1):43-52. doi:10.5094/APR.2013.005
9. Chiarello DI, Ustáriz J, Marín R, Gallardo FS, Illanes SE. Cellular mechanisms linking to outdoor and indoor air pollution damage during pregnancy. Front Endocrinol. 2023;14:1084986. doi:10.3389/fendo.2023.1084986
10. Scholten RH, Møller P, Andersen ZJ, Dehlendorff C, Khan J, Brandt J, et al. Telomere length in newborns is associated with exposure to low levels of air pollution during pregnancy. Environ Int. 2021;146:106202. doi:10.1016/j.envint.2020.106202
11. Zhang D, Cai K, Wang G, Xu S, Mao X, Zheng A, et al. Trimester-specific reference ranges for thyroid hormones in pregnant women. Medicine. 2019;98(4):e14245. doi:10.1097/MD.0000000000014245
12. Moleti M, Di Mauro M, Sturniolo G, Russo M, Vermiglio F. Hyperthyroidism in the pregnant woman: Maternal and fetal aspects. J Clin Transl Endocrinol. 2019;16:100190. doi:10.1016/j.jcte.2019.100190
13. Yousefzadeh E, Chamani A, Besalatpour A. Health effects of exposure to urban ambient particulate matter: A spatial-statistical study on 3rd-trimester pregnant women. Environ Pollut. 2024:123518. doi:10.1016/j.envpol.2024.123518. (Persian)
14. Rahimi M, Rouzbahani MM, Payandeh K, Nazarpour A, Panahpour E. Potential risk assessment of respiratory exposure to heavy metals in the air dust for the metropolitans of Khuzestan Province, Iran. 2024.(Persian)
15. Guo B, Wang Z, Pei L, Zhu X, Chen Q, Wu H, et al. Reconstructing MODIS aerosol optical depth and exploring dynamic and influential factors of AOD via random forest at the global scale. Atmos Environ. 2023;315:120159. doi:10.1016/j.atmosenv.2023.120159
16. Pérez-Cutillas P, Pérez-Navarro A, Conesa-García C, Zema DA, Amado-Álvarez JP. What is going on within google earth engine? A systematic review and meta-analysis. Remote Sens Appl Soc Environ. 2023;29:100907. doi:10.1016/j.rsase.2022.100907
17. Comber A, Brunsdon C, Charlton M, Dong G, Harris R, Lu B, et al. A route map for successful applications of geographically weighted regression. Geogr Anal. 2023;55(1):155-78. doi:10.1111/gean.12316
18. O'Donnell C, Campbell EJ, McCormick S, Anenberg SC. Prenatal exposure to air pollution and maternal and fetal thyroid function: a systematic review of the epidemiological evidence. Environ Health. 2024;23(1):78. doi:10.1186/s12940-024-01116-9
19. Howe CG, Eckel SP, Habre R, Girguis MS, Gao L, Lurmann FW, et al. Association of prenatal exposure to ambient and traffic-related air pollution with newborn thyroid function: findings from the Children's Health Study. JAMA Netw Open. 2018;1(5):e182172. doi:10.1001/jamanetworkopen.2018.2172
20. Antonelli A, Ferrari SM, Corrado A, Di Domenicantonio A, Fallahi P. Autoimmune thyroid disorders. Autoimmun Rev. 2015;14(2):174-80. doi:10.1016/j.autrev.2014.10.016
21. Klüser L, Holzer-Popp T. Mineral dust effects on clouds and rainfall in the West African Sahel. Atmos Chem Phys

Discuss. 2010;10(3). doi:10.5194/acpd-10-6167-2010
22. Dastoorpoor M, Sekhavatpour Z, Masoumi K, Mohammadi MJ, Aghababaeian H, Khanjani N, et al. Air pollution and hospital admissions for cardiovascular diseases in Ahvaz, Iran. Sci Total Environ. 2019;652:1318-30. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.10.285
23. Zhang E, Zhang Z, Chen G, Zhang Y-T, Su S, Gao S, et al. Associations of Ambient Particulate Matter with Maternal Thyroid Autoimmunity and Thyroid Function in Early Pregnancy. Environ Sci Technol. 2024. doi:10.1021/acs.est.3c10191
24. Wang X, Liu C, Zhang M, Han Y, Aase H, Villanger GD, et al. Evaluation of maternal exposure to PM2.5 and its components on maternal and neonatal thyroid function and birth weight: a cohort study. Thyroid. 2019;29(8):1147-57. doi:10.1089/thy.2018.0780
25. Yang K, Zhang G, Li Y. Association between air pollutants, thyroid disorders, and thyroid hormone levels: a scoping review of epidemiological evidence. Front Endocrinol. 2024;15:1398272. doi:10.3389/fendo.2024.1398272