مجلة مركز بابل للدراسات الإنسانية ٢٠٢٦ المجلد ١٦/ العدد ٥

التحليل المكاني والزماني لتأثيرات تغير المناخ على ا انخفاض لمياه الجوفية في قضاء كلار باستخدام بيانات القمر الصناعي(2003-2024) GRACE

الباحثون والجامعات: محمد علي قادر[١] صابرين اسماعيل شوكه [٢] مصطفى صالح اسماعيل[٣] سەركەوت حمەخورشيد احمد[4]

(1)قسم الجغرافيا، كلية العلوم الإنسانية، جامعة رابرين، إقليم كردستان – العراق.
mohammed.ali@uor.edu.krd
(2)قسم الجغرافيا، ، كلية اللغات والعلوم الإنسانية جامعة كرميان، إقليم كردستان – العراق.
sabrin.ismael@garmian.edu.krd
(3)قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة صلاح الدين، إقليم كردستان – العراق.
Mustafa.ismael@su.edu.krd
(4)قسم الجغرافيا، كلية التربية، جامعة كرميان، إقليم كردستان – العراق.
sarkawt.hamakhursheed@garmian.edu.krd

الكلمات المفتاحية: التغير المناخي، الاستشعار عن بعد، المياه الجوفية، قضاء كلار، القمر الصناعي(GRACE).

كيفية اقتباس البحث

قادر , محمد علي , صابرين اسماعيل شوكه , مصطفى صالح اسماعيل, سەركەوت حمەخورشيد احمد , التحليل المكاني والزماني لتأثيرات تغير المناخ على ا انخفاض لمياه الجوفية في قضاء كلار باستخدام بيانات القمر الصناعي (2003-2024 GRACE),مجلة مركز بابل للدراسات الانسانية، آيار ٢٠٢٦, المجلد:١٦ ,العدد:٥ .

هذا البحث من نوع الوصول المفتوح مرخص بموجب رخصة المشاع الإبداعي لحقوق التأليف والنشر (Creative Commons Attribution) تتيح فقط للآخرين تحميل البحث ومشاركته مع الآخرين بشرط نَسب العمل الأصلي للمؤلف، ودون القيام بأي تعديل أو استخدامه لأغراض تجارية.

مفهرسة في Indexed
IASJ

مسجلة في Registered
ROAD

Spatiotemporal Analysis of Climate Change Impacts on Groundwater Depletion in Kalar District Using GRACE Satellite Data(٢٠٠٣-٢٠٢٤)

Mohammed Ali Qadir [1] Sabrin Ismael SHawka [2] Mustafa Salah Ismael [3] Sarkawt Hamakhursheed Ahmed [4]

Department of Geography, College of Humanities, University of Raparin, Kurdistan Region – Iraq [1]
mohammed.ali@uor.edu.krd
Department of Geography, College of Languages and Human Sciences, University of Garmian, Kurdistan Region – Iraq [2]
sabrin.ismael@garmian.edu.krd
Department of Geography, College of Art, University of Salahaddin, Kurdistan Region – Iraq [3]
Mustafa.ismael@su.edu.krd
Department of Geography, College of Education, University of Garmian, Kurdistan Region – Iraq [4]
sarkawt.hamakhursheed@garmian.edu.krd

Keywords : Climate Change, Remote Sensing, Groundwater, Kalar District, GRACE Satellite.

How To Cite This Article
Qadir , Mohammed Ali , Sabrin Ismael SHawka , Mustafa Salah Ismael Sarkawt Hamakhursheed Ahmed , Spatiotemporal Analysis of Climate Change Impacts on Groundwater Depletion in Kalar District Using GRACE Satellite Data (2003-2024) ,Journal Of Babylon Center For Humanities Studies, May 2026,Volume:16,Issue 5.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

Abstract

Climate change and human activities have led to excessive depletion of groundwater resources in semi-arid areas. This paper explores the fluctuation in the amount of groundwater stored in the Kalar district by analyzing the GRACE data for 21 years through remote sensing technology. The results obtained demonstrate a sharp decrease. The GWSA decreased from -140 mm in 2003 to its record low of -724 mm in September 2024, indicating a yearly average rate of loss of -27.8 mm per year. It shows that over-exploitation is taking place, worsened by climate change. Additionally, soil water storage levels have been maintained on a seasonal basis, but it is only the underground water that suffers losses. Importantly, even the unexpected rainfall witnessed in 2019 did not alter the trend. These observations point to the necessity of shifting from reactive approaches to proactive adaptive strategies in water management systems. The main problem of this study is the great threat facing groundwater resources in the region and Kalar district. To understand this crisis, this study attempts to answer the following three key questions: To what extent have climate change and anthropogenic pressures (such as over-extraction of water), affected the decline in groundwater levels (GWSA) in Kalar district? . . . . Are there differences between surface soil moisture (SWS) changes with shallow groundwater reservoirs in the study area? Is the rate of groundwater level decline uniform in all areas of Kalar district, or do hotspots exist in certain areas?

الملخص

تواجه المناطق شبه الجافة استنزافًا لموارد المياه الجوفية نتيجة لتغير المناخ والأنشطة البشرية. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم التغيرات في مخزون المياه الجوفية في قضاء كلار، باستخدام بيانات الاستشعار عن بُعد عبر الأقمار الصناعية (GRACE) لمدة ٢١ عامًا.

مجلة مركز بابل للدراسات الإنسانية ٢٠٢٦ المجلد ١٦/ العدد ٥

تظهر النتائج انخفاضًا سريعًا وكبيرًا؛ إذ انخفض مستوى المياه الجوفية (GWSA) من -١٤٠ ملم منذ عام ٢٠٠٣ إلى أدنى مستوى تاريخي له عند -٧٢٤ ملم في سبتمبر ٢٠٢٤، بمعدل سنوي قدره -٢٧,٨ ملم. ويعود هذا إلى الاستخراج المفرط للمياه الجوفية وتغير المناخ. يشير التحليل إلى أنه على الرغم من الاستقرار الموسمي لرطوبة التربة(SWS)، فإن النقص الأكبر يكمن في المياه الضحلة، وحتى الأمطار الغزيرة التي شهدها عام ٢٠١٩ لم تُفلح في عكس هذا الاتجاه التنازلي.

تؤكد الدراسة على ضرورة تغيير أساليب إدارة المياه؛ من المعالجة المؤقتة إلى الإدارة الاستراتيجية والتكيفية، وذلك لتجنب العواقب البيئية والاجتماعية والاقتصادية التي لا يُمكن إصلاحها تتمثل المشكلة الرئيسية لهذه الدراسة في التهديد الكبير الذي يواجه موارد المياه الجوفية في المنطقة ومقاطعة كالار. ولفهم هذه الأزمة، تسعى هذه الدراسة إلى الإجابة عن الأسئلة الرئيسية الثلاثة التالية: إلى أي مدى أثر تغير المناخ والضغوط البشرية (مثل الإفراط في استخراج المياه) على انخفاض مستويات المياه الجوفية في مقاطعة كالار؟ ... هل توجد اختلافات بين تغيرات رطوبة التربة السطحية وخزانات المياه الجوفية الضحلة في منطقة الدراسة؟ هل معدل انخفاض مستوى المياه الجوفية موحد في جميع مناطق مقاطعة كالار، أم توجد بؤر ساخنة في مناطق معينة؟

شیکاریی شوێنی وکاتی کاریگەرییەکانی گۆڕانی ئاوهەوا لەسەر دابەزینی ئاوی ژێرزەوی قەزای کەلار بە بەکارهێنانی داتای مانگی دەستکردیGRACE (٢٠٠٣-٢٠٢٤)

ناوی توێژەران/محمد علی قادر[١] صابرین اسماعیل شوکە[٢] مصطفی صالح اسماعیل[٣]
سەرکەوت حمەخورشید احمد[٤]

جۆگرافیا،کۆلێژی زانستە مرۆڤایەتییەکان،زانکۆی ڕاپەڕین،هەرێمی کوردستان – عێراق(١)
mohammed.ali@uor.edu.krd
جۆگرافیا ، کۆلێژی زمان و زانستە مرۆڤایەتییەکان، زانکۆی گەرمیان، هەرێمی کوردستان – عێراق(٢)
sabrin.ismael@garmian.edu.krd
جۆگرافیا ،کۆلێژی ئاداب، زانکۆی سەلاحەددین، هەرێمی کوردستان – عێراق(٣)
Mustafa.ismael@su.edu.krd
جۆگرافیا ،کۆلێژی پەروەردە،زانکۆی گەرمیان،هەرێمی کوردستان-عێراق(٤)
sarkawt.hamakhursheed@garmian.edu.krd

پوختە

ناوچە نیمچەوشکەکان بەهۆی گۆڕانی ئاوهەوا و چالاکییە مرۆییەکانەوە ڕووبەڕووی کەمبوونی سەرچاوەکانی ئاوی ژێرزەوی بوونەتەوە. ئامانجی ئەم توێژینەوەیە، هەڵسەنگاندنی گۆڕانکارییەکانی گەنجینەی ئاوی ژێرزەوییە لە قەزای کەلار، بە بەکارهێنانی داتای ٢١ ساڵەی هەستەوەری دووری مانگی دەستکردی.(GRACE)

دەرەنجامەکان دابەزینێکی خێرا و بەرچاو نیشان دەدەن؛ ئاستی ئاوی ژێرزەوی (GWSA) لە (-١٤٠ ملم) لە ساڵی ٢٠٠٣ـەوە دابەزیوە بۆ نزمترین ئاستی مێژوویی (-٧٢٤ ملم) لە ئەیلوولی ٢٠٢٤، بە تێکڕای ساڵانەی (-٨.٢٧ ملم). ئەمەش دەرەنجامی دەرهێنانی لەڕادەبەدەر و گۆڕانی ئاوهەوایە. شیکارییەکان دەری دەخەن کە سەرەڕای سەقامگیریی وەرزیی شێی خاک (SWS)، کورتهێنانە سەرەکییەکان لە ئاوە قوولەکاندایە، وە تەنانەت بارانبارینی نائاسایی ساڵی ٢٠١٩ـەش نەیتوانی ئەم ڕەوتە دابەزینە پێچەوانە بکاتەوە.

توێژینەوەکە جەخت لە پێویستیی گۆڕینی شێوازی بەڕێوەبردنی ئاو دەکاتەوە؛ لە مامەڵەی کاردانەوەی کاتییەوە بۆ بەڕێوەبردنێکی ستراتیژی و خۆگونجێنەر، بەمەبەستی ڕێگریکردن لە دەرەنجامە قەرەبوونەکراوە ژینگەیی و کۆمەڵایەتی-ئابوورییەکان.

کلیلی ووشەکان:گۆڕانی ئاوهەوا، هەستکردن لە دوورەوە ،ئاوی ژێرزەوی، قەزای کەلار،، مانگی دەستکردیGRACE

پێشەکی:

ئاوی ژێرزەوی بە یەکێک لە پایە سەرەکییەکانی ژیان و ئاسایشی خۆراک دادەنرێت، بەتایبەتی لەو ناوچانەی کە ئاوهەوایان وشک یان نیمچە-وشکە. لە دەیەکانی ڕابردوودا، گۆڕانی ئاووهەوا وەک هۆکارێکی فشار و زیادبوونی چالاکییە مرۆییەکان وەک هۆکاری دەستکرد، بوونەتە هۆی تێکدانی هاوسەنگیی ئاوی لە زۆربەی ناوچەکانی خۆرهەڵاتی ناوەڕاست. قەزای کەلار لە هەرێمی کوردستان، یەکێکە لەو ناوچانەی کە بەدەست کەمئاوی و بەرزبوونەوەی پلەکانی گەرماوە دەناڵێنێت. بەهۆی سنووردارییوونی سەرچاوەکانی ئاوی سەرزەوی، فشارێکی زۆر کەوتووەتە سەر ئاوی ژێرزەوی .(Groundwater aquifers) چاودێریکردنی ئەم گۆڕانکارییانە بە ڕێگای کلاسیکی (وەک بیرە پێوانەییەکان) تێچووی زۆرە و داتای ورد و بەردەوام دابین ناکات. لێرەوە گرنگیی تەکنەلۆژیای هەستکردن لە دوورەوە (Remote Sensing)دەردەکەوێت، بەتایبەت مانگی دەستکردی GRACE کە توانای پێوانی گۆڕانکارییەکانی کۆگای ئاوی هەیە لەسەر بنەمای کێشکردنی زەوی (Rodell et al., 2018, p.4).

ئامانجەکانی توێژینەوە:

ئەم توێژینەوەیە ئامانجی سەرەکی و چەند ئامانجێکی لاوەکی لەخۆ دەگرێت:

١. ئامانجی سەرەکی:

شیکردنەوەی داتاکانی هەستکردن لە دووڕەوە بۆ ماوەی ٢١ ساڵی ڕابردوو (٢٠٠٣-٢٠٢٤) بە مەبەستی دیاریکردنی ئاراستەی گۆڕانکارییەکانی ئاوی ژێرزەوی لە قەزای کەلار و هەڵسەنگاندنی قەبارەی مەترسییەکان بە شێوازێکی زانستی و ژمارەیی.

٢. ئامانجە لاوەکییەکان:

- لێکجیاکردنەوەی کاریگەرییەکانی گۆڕانی ئاووهەوا (وەک بارانبارین و شێی خاکی سەرزەوی) لە کاریگەرییە مرۆییەکان (وەک زۆربەکارهێنان و ڕاکێشانی ئاوی قووڵ).
- دیاریکردن و نەخشاندنی جوگرافیی ئەو ناوچانەی کە زۆرترین مەترسییان لەسەرە (Hotspots) لە ڕێگەی بەکارهێنانی تەکنیکی شیکاریی (RBF Interpolation).
- پێشبینیکردنی ڕەوتی داهاتووی ئاستی ئاوی ژێرزەوی بۆ (٢٤) مانگی داهاتوو بە بەکارهێنانی مۆدێلی ئاماری، بۆ یارمەتیدانی بڕیاردەران لە داڕشتنی ستراتیژیی گونجاو.

کێشەی توێژینەوە:

کێشەی سەرەکیی ئەم توێژینەوەیە خۆی لەو مەترسییە گەورەیەدا دەبینێتەوە کە ڕووبەڕووی سەرچاوەکانی ئاوی ژێرزەوی لە ناوچەکەو قەزای کەلار بووەتەوە. بۆ تێگەیشتن لەم قەیرانە، ئەم توێژینەوەیە هەوڵ دەدات وەڵامی ئەم سێ پرسیارە سەرەکییە بداتەوە:

١ .ئایا گۆڕانی ئاوهەوا و فشارە مرۆییەکان (وەک دەرهێنانی زیاد لە پێویستی ئاو)، تا چەند کاریگەرییان هەبووە لەسەر دابەزینی ئاستی ئاوی ژێرزەوی (GWSA) لە قەزای کەلار؟

٢ .ئایا جیاوازی هەیە لە نێوان گۆڕانکارییەکانی شێی خاکی سەرزەوی (SWS) لەگەڵ گەنجینەکانی ئاوی قووڵی ژێرزەوی لە ناوچەی لێکۆڵینەوەکەدا؟

٣ .ئایا ڕێژەی دابەزینی ئاستی ئاوی ژێرزەوی لە تەواوی ناوچەکانی قەزای کەلاردا بە شێوەیەکی یەکسانە، یان چەقی مەترسی (Hotspots) لە ناوچە دیاریکراوەکاندا بوونی هەیە؟

گریمانەی توێژینەوە

لەسەر بنەمای کێشە و پرسیارەکانی توێژینەوەکە، ئەم خاڵانەی خوارەوە وەک گریمانە دەخرێنە ڕوو:

١ .وا گریمانە دەکرێت کە گۆڕانی ئاوهەوا و بەتایبەت فشارە مرۆییەکان، هۆکاری سەرەکی بن بۆ دابەزینێکی مەترسیدار و بەردەوام لە ئاستی ئاوی ژێرزەویی (GWSA) قەزای کەلار بە ئاراستەیەکی نەرێنی.

٢ .پێشبینی دەکرێت کە جیاوازییەکی ڕوون هەبێت لە نێوان پەیوەندیی شێی خاکی سەرزەوی (SWS)و ئاوی ژێرزەویی قووڵ؛ بە جۆرێک کە سەرەڕای جێگیریی ڕێژەیی شێی سەرزەوی بەهۆی گۆڕانی وەرزەکانەوە، کورتهێنانە گەورەکە تەنها لە گەنجینەی ئاوی قووڵدا چڕ بووبێتەوە.

٣ .وا گریمانە دەکرێت کە دابەزینی ئاستی ئاوی ژێرزەوی لە هەموو بەشەکانی قەزاکەدا یەکسان نەبێت، بەڵکو چەقی مەترسییەکان (Hotspots) لەو ناوچانەدا چڕ بووبێتنەوە کە زۆرترین فشاری مرۆیی و کشتوکاڵییان لەسەرە

پلانی توێژینەوە

بۆ گەیشتن بە ئامانجەکان و سەلماندنی گریمانەکان، توێژینەوەکە دابەش کراوە بەسەر چەند بەشێکی سەرەکیدا. سەرەتا چوارچێوەی گشتی و پاشخانی لێکۆڵینەوەکە خراوەتە ڕوو. پاشان لە بەشی میتۆدۆلۆژیدا، باس لە تایبەتمەندییەکانی ناوچەی لێکۆڵینەوەکە، جۆری داتاکانی مانگە دەستکردەکان و شێوازی شیکردنەوەی ئاماری کراوە. دواتر لە بەشی ئەنجامەکاندا، گۆڕانکارییە کاتی و شوێنییەکانی ئاوی ژێرزەوی شیکراونەتەوە، و لە کۆتاییشدا دەرەنجام و ڕاسپاردە پێشنیارکراوەکان بۆ لایەنە پەیوەندیدارەکان خراونەتە ڕوو.

ئاستەنگەکانی بەردەم توێژینەوە

لە کاتی جێبەجێکردنی ئەم توێژینەوەیەدا، توێژەر ڕووبەڕووی چەند ئاستەنگێک بووەتەوە، لەوانە:

١ .کەمی یان نەبوونی داتای مەیدانیی بەردەوام و باوەڕپێکراو (Ground-truth Data) بۆ پێوانەی بیرەکان لە ناوچەی لێکۆڵینەوەکەدا، کە بۆ بەراوردکردن لەگەڵ داتای مانگە دەستکردەکان پێویست بوون

٢. .نزمیی ڕوونیی شوێنی(Spatial Resolution) ی هەندێک لە داتاکانی هەستکردن لەدورەوە (وەک داتاکانی گۆڕانی کێشکردن)، کە شیکردنەوەی وردی بۆ ناوچەیەکی بچووکی وەک قەزایەکی دیاریکراو تا ڕادەیەک قورس دەکرد.

٣ .کەمیی سەرچاوە و لێکۆڵینەوەی پێشووتر لەسەر ناوچەی لێکۆڵینەوەکە بە بەکارهێنانی هەمان تەکنیک.

ناوچەی لێکۆڵینەوە(Study Area)

هەڵکەوتەی جوگرافی و فەلەکی- ١

قەزای کەلار بە ناوەندی ئیدارەی گەرمیان دادەنرێت، کە دەکەوێتە بەشی باشووری ڕۆژهەڵاتی هەرێمی کوردستانی عێراق. لە ڕووی کارگێڕییەوە، ئەم ناوچەیە بەشێکی فراوان لە باشووری پارێزگای سلێمانی دەگرێتەوە و هاوسنوورە لەگەڵ کۆماری ئیسلامی ئێران لە خۆرهەڵات و پارێزگاکانی دیالە و سەلاحەدین لە باشوور و خۆرئاواوە. هەڵکەوتەی فەلەکی ناوچەکە

بەشێوەیەکە کە دەکەوێتە نێوان بازنەکانی پانی ″34°31′00 بۆ ″34°45′00 لە نیوەگۆی باکوور، و هێڵەکانی درێژی ″45°15′00 بۆ ″45°50′00 لە ڕۆژهەڵاتی گۆی زەوی. ئەم پێگە جوگرافییە وایکردووە کە گەرمیان وەک ناوچەیەکی گواستراوە (Transitional Zone) لە نێوان زنجیرە چیا بەرزەکانی زاگرۆس و دەشتاییە نیشتووەکانی ناوەڕاستی عێراقدا دەرکەوێت، کە کاریگەریی ڕاستەوخۆی لەسەر سیستەمی ئاووهەوا و دابەشبوونی ئاوی ژێرزەوی هەیە. بر وانه نه خشه ی ژماره (١)

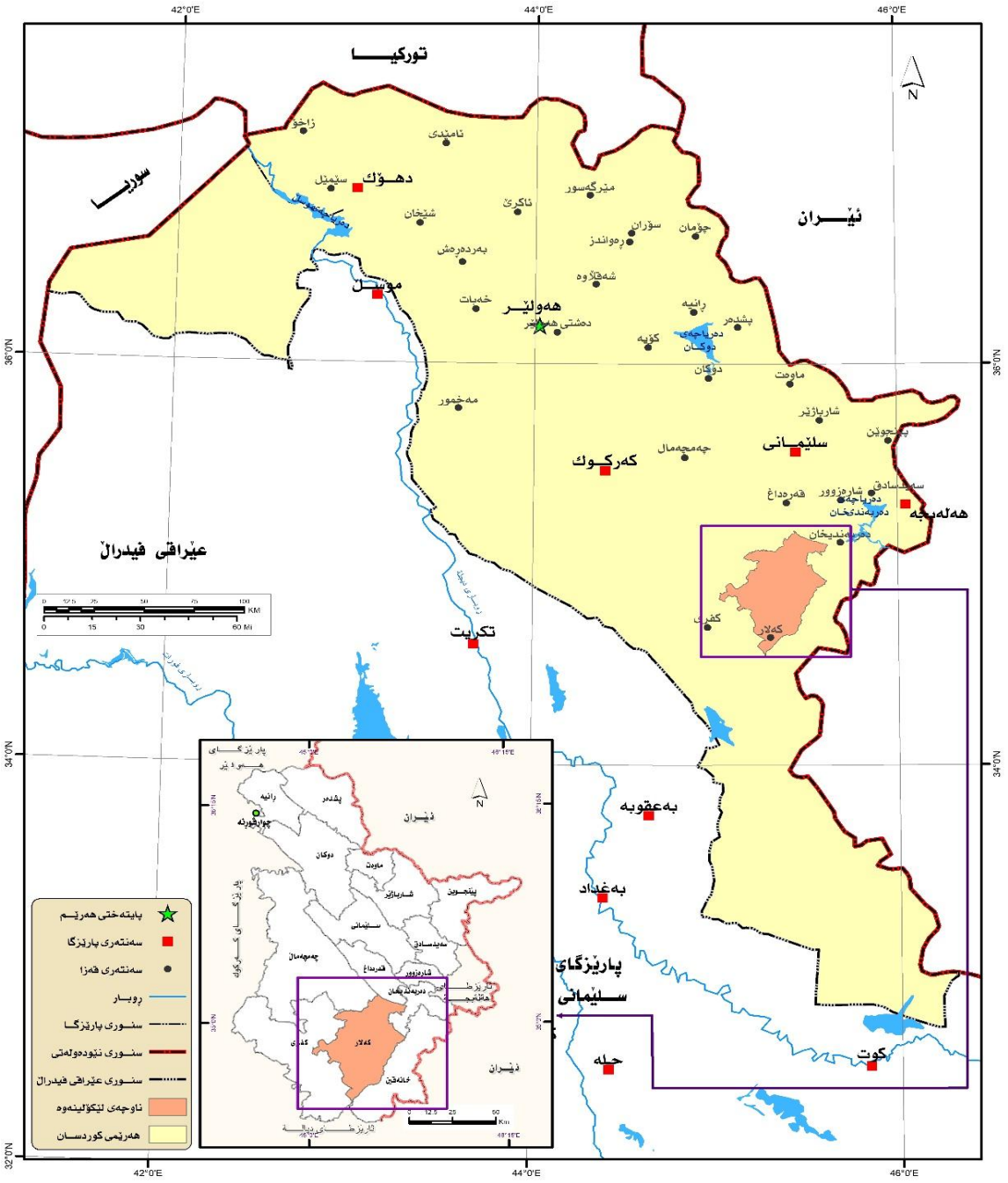
٢-٣ تایبەتمەندییە تۆپۆگرافی و جیۆمۆرفۆلۆجییەکان

ڕووبەری گشتی ناوچەی لێکۆڵینەوەکە دەگاتە (1698.5) کیلۆمەتر دووجا. لە ڕووی تۆپۆگرافییەوە، ناوچەی توێژینەوە بە ناوچەیەکی "نیمچە شاخاوی و دەشتایی شەپۆلدار " (Undulating Plains)دادەنرێت. بەگشتی ناوچەکە لەڕوی بەرزیو نزمییەوە جیاوازی تێدایە بەجۆرێک بەرزترین خاڵی (١٦٧٩) مەترە لە باکورو ناوەڕاستی ناوچەکەدا هەیە، لەبەرامبەردا بەشی باشوری خۆر هەڵات و باشوری ناوچەکە نزمترین ئاستیان هەیە کەدەگاتە(١٧٤) مەتر لەئاستی دەریا، واتا لەبەشی بەرزیی ناوچەکە لە ئاستی ڕووی دەریاوە لە بەشەکانی باکوور و خۆرهەڵاتەوە بەرزە و بە ئاڕاستەی باشوور و خۆرئاوا دادەبەزێت، ئەمەش ئاڕاستەی جوڵەی ئاوی سەرزەوی و ژێرزەوی دیاری دەکات. پێکهاتەی جیۆلۆجی ناوچەکە بە زۆری لە چینە نیشتووەکان (Sedimentary Layers) پێکهاتووە کە توانایەکی باشیان هەیە بۆ گلدانەوەی ئاو لە چینە ئاوییەکاندا(Aquifers) ، بەڵام بەهۆی کراوەیی ناوچەکە و نەبوونی ڕووپۆشی ڕووەکیی چڕ، ڕووبەڕووی ڕێژەیەکی بەرزی بەهەڵمبوون دەبێتەوە.

٣-٣ ئاووهەوا و سیستەمی هایدرۆلۆجی

لە ڕووی ئاووهەواوە، قەزای کەلار لەژێر کاریگەریی ئاووهەوای "نیمچە-وشک (Semi-arid " (Climateدایە. وەرزەکانی ساڵ بەسەر دوو ماوەی سەرەکیدا دابەش دەبن: هاوینێکی درێژخایەن، وشک و گەرم کە پلەکانی گەرمی تێیدا زۆرجار ٥٠ پلەی سیلیزی تێدەپەڕێنن، لەگەڵ زستانێکی کورت و مامناوەند. ڕێژەی بارانبارین لە ناوچەکەدا ناجێگیرە (Erratic Rainfall) و ساڵانە لە نێوان ٢٠٠ بۆ ٤٠٠ ملم دەبێت، کە زۆربەی لە وەرزی زستان و سەرەتای بەهاردا دەبارێت. ئەم کەمبارانییە وایکردووە کە ڕووبار و چەمەکان (وەک ڕووباری سیروان و ئاوەسپی) وەک سەرچاوەی سەرەکی ئاو نەتوانن پێداویستییەکان پڕبکەنەوە، بۆیە دانیشتوانی ناوچەکە و کەرتی کشتوکاڵ بە ڕێژەی زیاتر لە ٨٠٪ پشت بە ئاوی ژێرزەوی دەبەستن. ئەم تایبەتمەندییە ژینگەییانە وایکردووە گەرمیان ببێتە یەکێک لەو ناوچانەی کە زۆرترین کاریگەریی گۆڕانی ئاووهەوا(Climate Change Impact) ی لەسەر دەرکەوێت.

نەخشەی(١) شوێنی جوگرافی و سنووری کارگێڕی قەزای کەلار (ناوچەی توێژینەوە)



توێژەران: بەکارهێنانی بەرنامەی (Arc GIS 10.8.2)

٤ .داتا و میتۆدۆلۆژی(Data and Methodology)

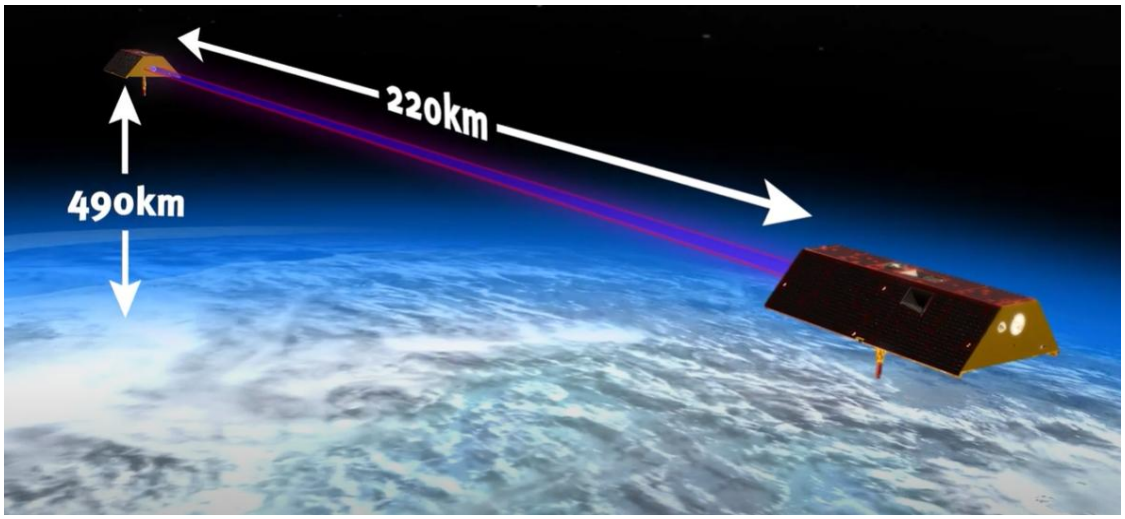
٤-١ سەرچاوەی داتاکان

بۆ ئەنجامدانی ئەم توێژینەوەیە، پشت بە دوو سەرچاوەی سەرەکیی جیهانی بەستراوە بۆ ماوەی نێوان کانوونی دووەمی ٢٠٠٣ تا ئەیلوولی ٢٠٢٤:

GRACE Data داتاکانی مانگی دەستکردی (Gravity Recovery and Climate Experiment)بۆ پێوانی گۆڕانکاری لە کۆی گشتی کۆگای ئاوی (TWS). بۆ دەست کەوتنی داتاکانی (SWS) سوود لە مۆدیلی داتاسێتی سیستەمی (Global Land Data Assimilation System) بۆ وەرگرتنی زانیاری لەسەر شێی خاک وەرگیراوە.

لەم بابەتەدا هەوڵدەدرێت بەراوردکارییەکی زانستی لە نێوان سەرچاوەکانی داتای GRACE بخەینەڕوو و مۆدیلەکانی هایدرۆلۆجی . ئامانج لە بەراوردکارییەکە، دۆزینەوەی خاڵە هاوبەش و جیاوازەکانە لە ئەنجامی هەردوو سەرچاوە بۆ ئەوەی بتوانرێت وێنەیەکی باشتر لە دۆخی سەرچاوەکانی ئاوی ژێرزەوی لە ناوچەی توێژینەوە بەدەست بهێنین.

وێنەی(١) سەتەلایتی GRACE گرەیس و چۆنیەتی کارکردنی بۆ داتای ئاویژێرزەوی:



سەتەلایتیGRACE ، کە لە دوو سەتەلایت پێکهاتووە بە دووری ٢٢٠ کیلۆمەتر لە یەکتر، گۆڕانکاری لە کێشکردنی زەوی بەکاردەهێنێت بۆ پێوانی گۆڕانکاری لە ئاستی ئاوی ژێرزەوی .گۆڕانکاری لە دووری نێوان ئەم دوو سەتەلایتە، کە بە وردی ١٠ مایکرۆمەتر (٠.٠٠٠١ مەتر) دەپێورێت، بەهۆی کێشکردنی جیاوازی بارستایی ئاوەوە دروست دەبێت. ئەم زانیارییانە دواتر بە پرۆسەیەکی ئاڵۆزی ماتماتیکی شیکاری دەکرێن و بۆ دروستکردنی نەخشەی گۆڕانی مانگانەی ئاستی ئاوی ژێرزەوی بەکاردەهێنرێن. ڕیزۆلۆشینی شوێنی سەتەلایتەکە ٣٠٠-٤٠٠ کیلۆمەترە.

٤-٢ پرۆسەی بەرزکردنەوەی شوێنی داتاکان (Spatial Downscaling):

وەک پێشتر ئاماژەی پێدرا، یەکێک لە ئالەنگارییە سەرەکییەکانی بەکارهێنانی داتاکانی مانگی دەستکردی (GRACE) بۆ توێژینەوە لۆکاڵییەکان، نزمیی ڕیزۆلۆشینە بنەڕەتییەکەیەتی کە لە

نێوان ٣٠٠ - ٤٠٠ کیلۆمەترداید، و تەنانەت دوای پرۆسێسکردنی داتاکانیش لەلایەن ئاژانسی ناساوە بۆسەر شێوەی تۆر(Gridded Data) ، ڕیزۆلۆشینەکەی دەبێتە ١ پلەی جوگرافی (نزیکەی ١١١ کیلۆمەتر). بە لەبەرچاوگرتنی ڕووبەری قەزای کەلار، ئەم ڕیزۆلۆشینانە بۆ شیکارییەکی وردی ناوچەیی گونجاو نین و ناتوانرێت گۆڕانکارییە ناوخۆییەکانی پێ دەستنیشان بکرێت.

بۆ چارەسەرکردنی ئەم سنووردارببوونە و بەدەستهێنانی دیمەنێکی وردتری جوگرافی، لەم توێژینەوەیەدا پرۆسەی بەرزکردنەوەی شوێنی (Spatial Downscaling) بەکارهێنرا. بە پشت بەستن بە تەکنیکی شیکاریی دابەشبوونی جوگرافیی جۆری - (RBF Interpolation Radial Basis Function)، داتاکانی گۆڕانی ئاسایی ئاوی ژێرزەوی (GWSA) شیکارییان بۆ کرایەوە و ڕیزۆلۆشینەکەیان بۆ ناوچەی لێکۆڵینەوەکە بەرزکرایەوە بۆ ٥٠٠ مەتر.

ئەم هەنگاوە پێشکەوتووەی شیکاریی داتا، ڕێگەی دا بە بەرهەمهێنانی نەخشەی جوگرافیی خاوەن ڕیزۆلۆشینی بەرز (وەک لە شێوەکانی ٥ و پاشکۆی A دا دەردەکەوێت). بەمەش توانرا بە وردی ناهاوسەنگییە جوگرافییەکان لە دابەزینی ئاستی ئاوی ژێرزەویدا دیاری بکرێت و ئەو ناوچانە دەستنیشان بکرێن کە زۆرترین ڕێژەی دابەزینیان تێدایە (Hotspots).

هەردوو سەرچاوەی داتا پشتیان بە میتۆدۆلۆجی جیاواز بەستووە GRACE .سەتەلایتێکە کە بە شێوەیەکی ڕاستەوخۆ پێوانی گۆڕانکارییەکانی کێش کردنی زەوی(Ggravity) زەوی دەکات، لە کاتێکدا GLDAS مۆدێلێکی کۆمپیوتەرییە کە داتای جیاواز تێکەڵ دەکات.

سەرچاوەی GRACE بەهۆی پێوانی ڕاستەوخۆی گۆڕانکارییەکانی گرافیتی-کێشکردن کە پەیوەستن بە بارستەی ئاوەوە، توانایەکی بەرزی هەیە لە پێوانی گۆڕانکارییەکانی ئاوی ژێرزەوی. لەلایەکی ترەوە، گلداس مۆدێلێکی فراوانترە کە چەندین سەرچاوەی داتا بەکار دەهێنێت، کە ڕێگە دەدات بە پێشکەشکردنی داتا بە ڕیزۆلۆشینی بەرزتر و ماوەی درێژتر.

٣-٤ شیکاری داتا

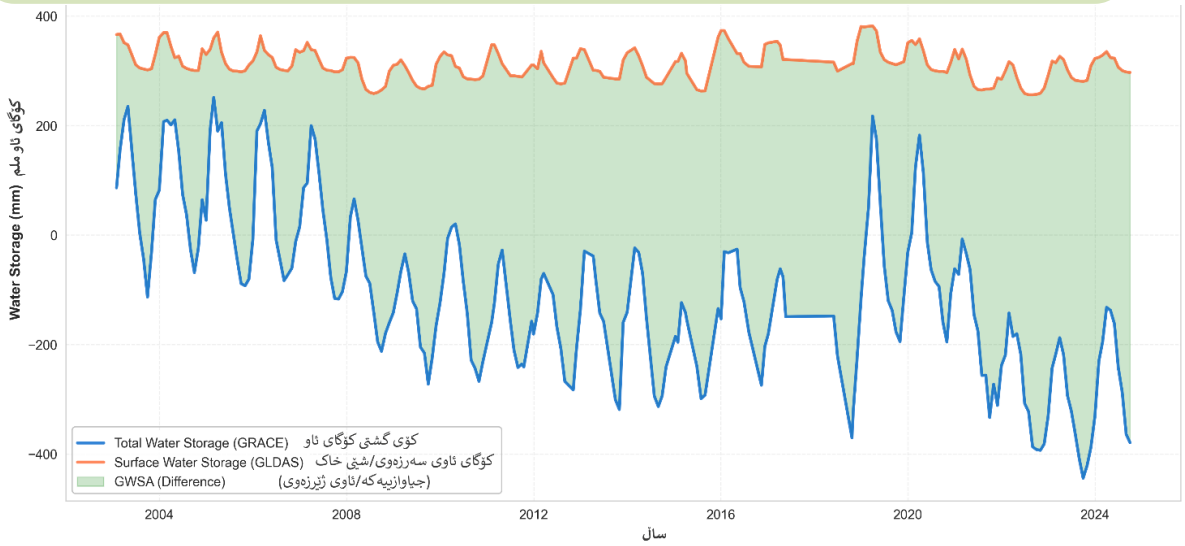
بۆ دەرهێنانی بڕی ئاوی ژێرزەوی(GWSA) ، "هاوکێشەی پارسەنگی ئاوی" بەکارهێنراوە. پرەنسیپەکە ئەوەیە کە کۆی گشتی ئاو (TWS) پێکهاتووە لە ئاوی ژێرزەوی، شێی خاک، و ئاوی سەر ڕووی زەوی. بە لێکدەرکردنی شێی خاک لە کۆی گشتی، گۆڕانکاری ئاوی ژێرزەوی دەردەکەوێت:

$$GWSA = TWS - SWS$$

- GWSA: گۆڕانکاریی ئاوی ژێرزەوی (ملم)
- TWS: کۆی گشتیی کۆگای ئاو (ملم)
- SWS: شێی خاک (ملم)

سوود لە (Arshad et al., 2024, p.5) وەگیراوە.

شێوەی (1) جیاکردنەوەی پێکهاتەکانی ئاوی ژێرزەوی (GWSA) لە کۆی گشتی ئاو (TWS) و ئاوی سەرزەوی .(SWS)



توێژەران: پشت بەست بە داتاکانی (GRACE) و خشتەی(A-1) و (A-2).

ئەم هێڵکارییە پەیوەندیی نێوان کۆی گشتیی گەنجینە ئاو (TWS - هێڵی شین) و شێی خاک (SWS - هێڵی پرتەقاڵی) دەخاتەڕوو. ناوچە سەوزەکە بریتییە لە جیاوازیی نێوانیان (GWSA) کە نوێنەرایەتیی ئاوی ژێرزەوی دەکات. وەک دەبینرێت، سەرەڕای جێگیریی ڕێژەییی شێی خاک، بۆشاییە سەوزەکە لە ساڵانی دواییدا بەرەو خوارەوە کشاوە، کە بەڵگەی کەمبونەوەی یەدەگی ئاوی ژێرزەوییە.

٥-٤ هەڵسەنگاندنی کوالیتی و متمانەپێکراویی داتاکان (Data Validation and Quality Assessment)

بۆ دڵنیابوون لە دروستیی ئەنجامەکان، پشت بە داتای فەرمیی تاقیگەی پاڵنەری جێتی سەر بە ئاژانسی ناسا (NASA JPL) بەستراوە کە لەسەر ئاستی جیهانی ڤالیدەیشن (Validation) بۆ داتاکانی کراوە. پرۆسەی جیاکردنەوەی شێی خاک لە ئاوی گشتی لەڕێگەی مۆدێلی (GLDAS)ەوە ئەنجامدراوە کە متمانەپێکراوییەکی بەرزی هەیە و ڕێژەی نادڵنیاییەکەی (Uncertainty) تەنها لە دەوروبەری ±٥٠ ملم دایە. سەرەڕای ئەوەش، بۆ سەلماندنی هێزی ئاماریی ڕەوتی دابەزینەکە، شیکاریی گەڕانەوەی هێڵی (Linear Regression) بە ئاستی دڵنیایی ٩٥٪ (Confidence Interval %٩٥) ئەنجامدراوە (وەک لە هێڵکاریی شێوەی ٢دا ڕوونکراوەتەوە)، کە دەریدەخات گۆڕانکارییەکان و ڕەوتی دابەزینەکە لەڕووی ئامارییەوە زۆر واتادارن (Highly Significant) و پێوانەیەکی دروستی دۆخی هایدرۆلۆجیی ناوچەکەن.

٥. ئەنجام و گفتوگۆ(Results and Discussion)

٥-١ شیکاری زنجیرەی کاتی و ئاراستەی گشتی

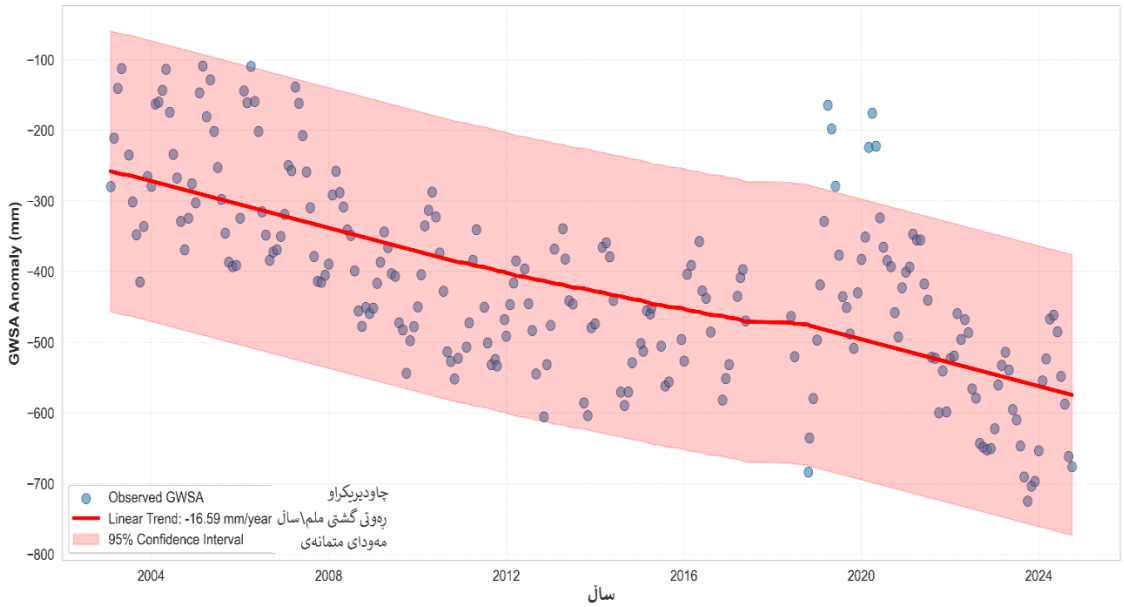
شیکردنەوەی زنجیرە کاتییەکانی (Time-series Analysis) بۆ داتاکان لە ٢٠٠٣ تا ٢٠٢٤، دابەزینێکی بەردەوام و مەترسیدار نیشان دەدات. داتاکان دەسەلمێنن کە ئاوی ژێرزەوی لە قەزای کەلار بە تێکڕایەکی ساڵانەی بەرچاو ڕووەو کەمبوون دەچێت.

خشتەی (1) دۆخە ئامارییە سەرەکییەکانی گۆڕانکاریی ئاوی ژێرزەوی (2003- 2024) لە ناوچەی توێژینەوە

بەروار (ساڵ/مانگ)	Event Significance (گرنگیی دۆخەکە)	TWS (mm)	SWS (mm)	GWSA (mm)
کانونی دووەم - 2003	Baseline Start (سەرەتای تۆمارەکان)	86.26	365.59	-279.33
ئازار- 2006	Historical Peak (بەرزترین ئاستی تۆمارکراو)	227.76	336.99	-109.23
ئەیلوول - 2008	Drought Impact (کاریگەریی وشکەساڵی ٢٠٠٨)	-212.51	263.80	-476.31
ئازار - 2019	Temporary Recovery (بوژانەوەی کاتی - باران)	217.29	381.91	-164.62
ئەیلوول - 2021	Rapid Decline Start (دەستپێکی کورتهێنانی خێرا)	-333.38	265.48	-598.86
ئەیلوول - 2023	Critical Low Point (نزمترین ئاستی مێژوویی)	-444.23	279.74	-723.97
ئەیلوول - 2024	Current Status (دۆخی ئێستا)	-379.23	296.15	-675.38

توێژەران: پشت بەست بە داتاکانی (GRACE) و خشتەی(A-1) و (A-2).

شێوەی (2) زنجیرەی کاتیی گۆڕانکارییەکانی ئاوی ژێرزەوی لەگەڵ مەودای متمانەی ٩٥٪ (Shaded Area). هێڵە سوورەکە ڕەوتی گشتی (Linear Trend) دابەزین نیشان دەدات بۆ ماوەی (2003-2024) لە ناوچەی توێژینەوە



توێژەران: پشت بەست بە داتاکانی (GRACE) و خشتەی(A-1) و (A-2).

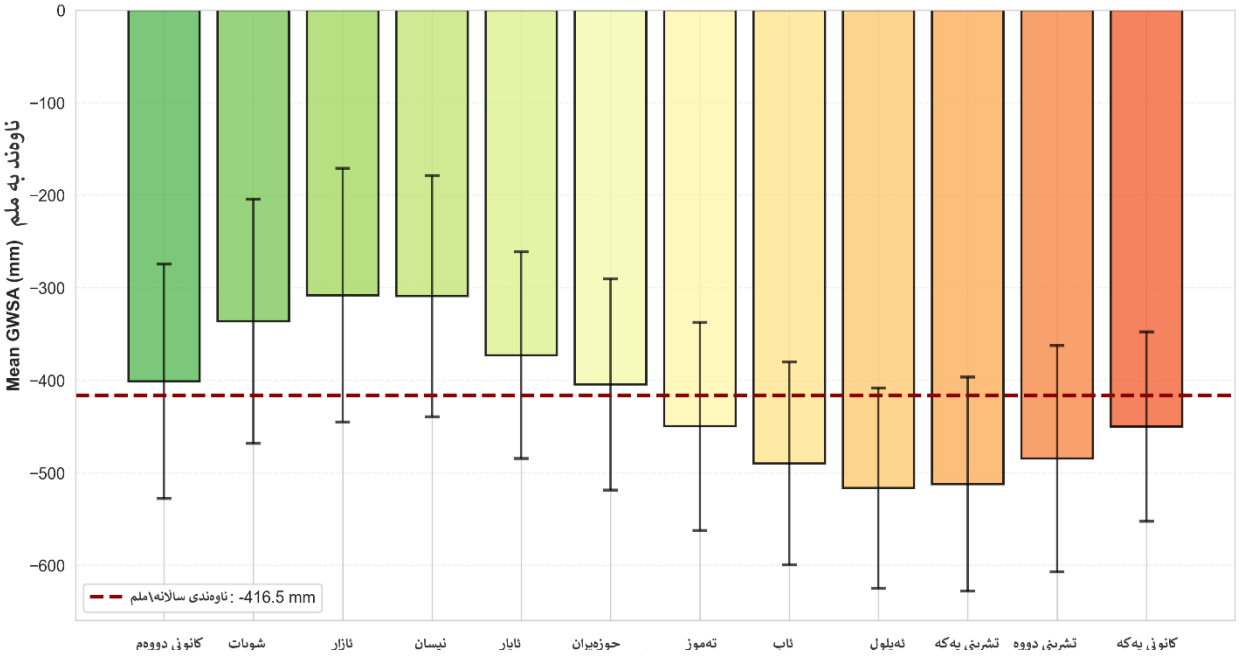
وەک لە شێوەی (٣)دا دەردەکەوێت، ساڵی ٢٠٢٣ نزمترین ئاستی تۆمارکراوی هەیە لە مێژووی ناوچەکەدا، کە گەیشتووەتە خوار -٧٠٠ ملم .ئەمەش بەڵگەی کورتهێنانی یەدەگی ستراتیژی ئاوە.

خاڵەکان داتای مانگانەی چاودێریکراوی سەتەلایتی GRACE نیشان دەدەن. هێڵە سوورە ئەستوورەکە ڕەوتی گشتیی دابەزین (Linear Trend) دەسەلمێنێت بە تێکڕای -١٦,٥٩ ملم بۆ هەر ساڵێک. ناوچە پەمەییەکە مەودای متمانەی ٩٥% (Confidence Interval) دیاری دەکات. بەو پێیە، ساڵی ٢٠٢٣ نزمترین ئاستی تۆمارکراوی هەیە لەو ماوەیەی ناوچەکە.

٥-٢ چڕیی وەرزی و مانگانەی وشکەساڵی:

وەک لە شێوەی (3)دا دەردەکەوێت، سیستەمی ئاوی ژێرزەوی لە قەزای کەلار پەیڕەوی خولێکی وەرزیی ڕوون دەکات. بەرزترین ئاستی پڕبوونەوە (Recharge) لە مانگەکانی ئازار و نیسان تۆمار دەکرێت، کە دەکەوێتە کۆتایی وەرزی بارانبارین. بە پێچەوانەوە، نزمترین ئاست لە مانگەکانی ئەیلوول و تشرینی یەکەم دەبینرێت، کە دەرەنجامی کۆتاییهاتنی وەرزی وشکی هاوین و بەکارهێنانی زۆری ئاوە بۆ بەکارهێنان. ئەوەی جێگای سەرنجە، تەنانەت لە باشترین مانگەکانیشدا (بەهار)، تێکڕای ئاستی ئاو هەر لە ناوچەی نێگەتیڤدایە-نەرێنی دایە، کە ئاماژەیە بۆ کورتهێنانی گشتیی سیستەمەکە.

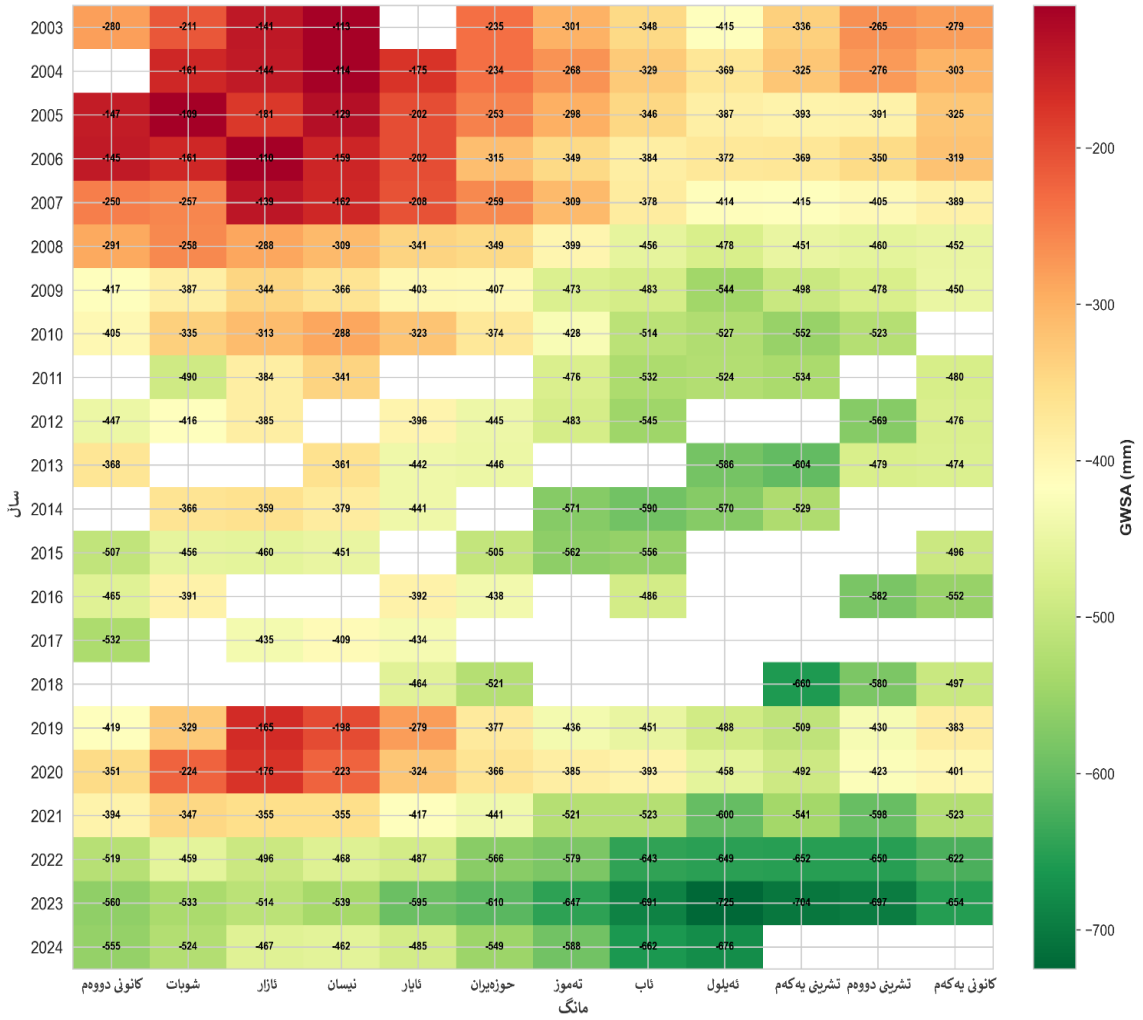
شێوەی (3) شێوازی وەرزیی مانگانەی ئاوی ژێرزەوی .(GWSA) ستوونەکان تێکڕای ئاستی ئاو نیشان دەدەن لە مانگێکدا بۆ تەواوی ساڵەکان. هێڵی (Error Bars) ئاماژەن بۆ لادانی پێوانەیی.(Standard Deviation)



توێژەران: پشت بەست بە داتاکانی (GRACE) و خشتەی(A-1) و (A-2).

وەک لە شێوەکەدا دیارە کە ستوونەکان تێکڕای ئاستی ئاوی ژێرزەوی نیشان دەدەن بۆ هەر مانگێک لە ماوەی ٢١ ساڵدا. هێڵە ڕەشەکان (Error Bars) ئاماژەن بۆ لادانی پێوانەیی. وێنەکە دەریدەخات کە باشترین ئاستی پڕبوونەوە (Recharge) لە مانگەکانی بەهار (March و April) ڕوودەدات، لەکاتێکدا نزمترین ئاست لە کۆتایی وەرزی هاوین (September و October) تۆمار دەکرێت. هێڵە پچڕپچڕە سوورەکەش تێکڕای گشتی ساڵانە نیشان دەدات. بۆ تێگەیشتن لەوەی ئایا کەم ئاوییەکە تەنها لە هاویندایە یان بەردەوامە، شیکاری "نەخشەی گەرمی (Heatmap) "ئەنجامدراوە.

شێوەی (4) نەخشەی گەرمیی (Heatmap) مانگانە بۆ چڕیی دابەزینی ئاو (٢٠٠٣-٢٠٢٤) لە ناوچەی لێکۆڵینەوە



توێژەران: پشت بەست بە داتاکانی (GRACE) و خشتەی(A-1) و (A-2).

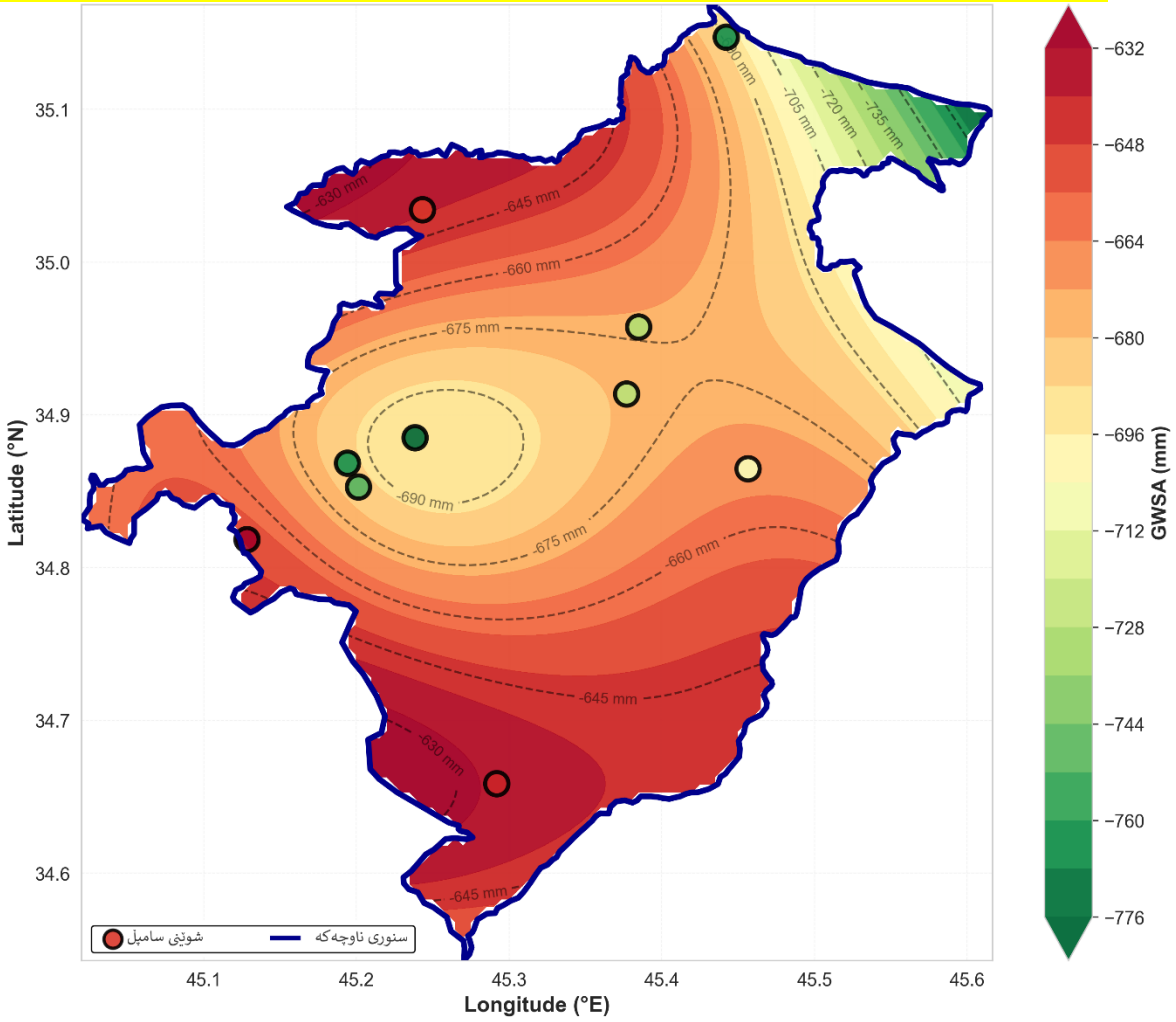
ئەم شێوەیە گۆڕانکارییەکانی ئاستی ئاو بەپێی ڕەنگ نیشان دەدات. ڕەنگە سوورە تۆخەکان لە ساڵانی کۆتاییدا ئاماژەن بۆ ئەوەی قەیرانەکە هەموو مانگەکانی ساڵی گرتووەتەوە.گۆڕانی پلەبەندیی ڕەنگەکان لە ساڵانی سەرەتادا (بەشەکانی سەرەوە) بۆ ڕەنگە تۆخەکان لە ساڵانی کۆتاییدا (بەشەکانی خوارەوە)، ئاماژەیە بۆ چڕبوونەوەی وشکەساڵی. داتاکان دەریدەخەن کە لە ساڵی ٢٠٢٣ و ٢٠٢٤ دا، کەمئاوییەکە بووەتە دیاردەیەکی بەردەوامی و هەموو مانگەکانی ساڵی گرتووەتەوە.

مانای ئەوەیە کە وشکەساڵییەکە بووەتە دیاردەیەکی هەمیشەیی و تەنانەت مانگەکانی زستانیش ناتوانن ئاستی ئاوەکە هاوسەنگ بکەنەوە.

٥-٣ دابەشبوونی جوگرافیی دابەزینی ئاو:

شیکارییەکان دەریدەخەن کە کاریگەرییەکە لە هەموو شوێنێک یەکسان نییە. بەکارهێنانی تەکنیکی (RBF Interpolation) یارمەتیدەر بووە بۆ دەستنیشانکردنی ناوچە مەترسیدارەکان(Hotspots)

شێوەی (5) نەخشەی دابەشبوونی جوگرافیی چڕیی گۆڕانکارییەکانی دابەزینی ئاستی ئاوی ژێرزەوی ناوچەکە دەخاتە ڕوو



توێژەران: پشت بەست بە داتاکانی (GRACE) و خشتەی(A-1) و (A-2).

لەم نەخشەیەدا کە بە بەکارهێنانی تەکنیکی (RBF Interpolation) ئامادەکراوە بۆ دیاریکردنی ناوچە مەترسیدارەکان. ڕەنگە سوورە تۆخەکان ئەو ناوچانە دەستنیشان دەکەن کە زۆرترین ڕێژەی دابەزینی ئاویان تێدا تۆمارکراوە (خوار -٧٠٠ ملم)، لەکاتێکدا ناوچە زەردەکان دابەزینی

کەمتریان بەخۆوە بینیوە. ئەمەش نیشاندەری نایەکسانی فشاری سەر سەرچاوە ئاوییەکانە لە ناوچەکەدا.

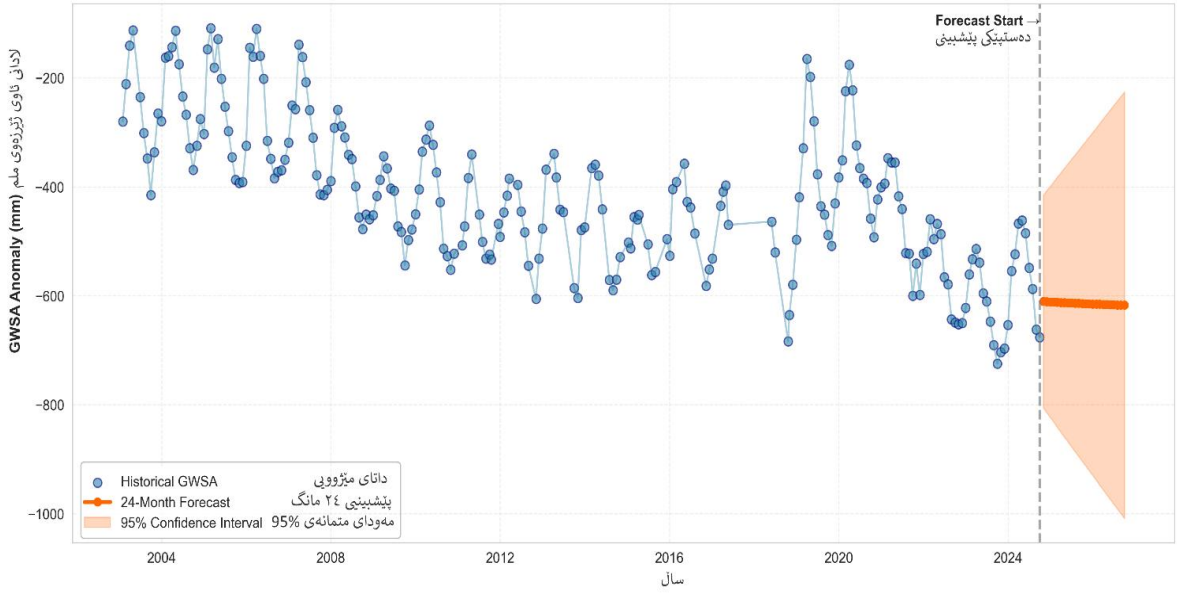
٥-٤ پێشبینی داهاتوو(Future Forecast)

بە بەکارهێنانی مۆدێلی ئاماری پێشکەوتوو بۆ لابردنی کاریگەرییە وەرزییەکان و دەرخستنی ڕەوتی داهاتوو، پێشبینی بۆ ٢٤ مانگی داهاتوو (٢ ساڵ) کراوە.

٥-٥ پتەویی مۆدێلەکە و مانای ئاماری (Statistical Significance and Model Robustness):

ئەنجامە ئاماریەکان ئاستێکی جێگیری متمانەپێکراوی مۆدێلەکە نیشان دەدەن. بەدەستهێنانی بەهای (P-value < 0.001) بەڵگەیەکی بەهێزە کە ڕەوتی دابەزینی ئاوی ژێرزەوی لە قەزای کەلار دیاردەیەکی سیستماتیکە و بەهۆی هەڵەی هەڕەمەکییەوە نییە. هەروەها، بوونی هاوکۆڵکەی (R-squared = 0.45) لەگەڵ مەودای متمانەی ٩٥٪، پشتڕاستی دەکاتەوە کە داتاکانی (GRACE) توانایەکی باشیان هەیە بۆ تومارکردنی گۆڕانکارییە درێژخایەنەکان لە کۆگای ئاوەکەدا. هەرچەندە بەهای(R2) مامناوەندە، بەڵام ئەمە دەگەڕێتەوە بۆ کاریگەرییە وەرزییە بەرچاوەکان کە لە خشتەی پاشکۆی (B)دا ڕوون کراونەتەوە، کە ئەمەش لە لێکۆڵینەوەکانی هایدرۆلۆجی و هەستکردن لە دورەوە بە بەهایەکی قبوولکراو و گونجاو هەژمار دەکرێت.

شێوەی (6) مۆدێلی پێشبینیکردنی ئاستی ئاوی ژێرزەوی بۆ ٢٤ مانگی داهاتوو. ناوچە پرتەقاڵییەکە ئەگەری بەردەوامی دابەزین نیشان دەدات ئەگەر هیچ هەنگاوێکی کردەیی نەنرێت.



توێژەران: پشت بەست بە داتاکانی (GRACE) و خشتەی(A-1) و (A-2).

ئەم مۆدێلە پشت دەبەستێت بە ڕەوتی پۆلینۆمیەڵ (Polynomial Trend) و سافکردنی ئەکسپۆنێنشیاڵ. ناوچە پرتەقاڵییەکە (Forecast Zone) پێشبینیی ئاستی ئاو دەکات بۆ ٢ ساڵی داهاتوو. ئەنجامەکان ئاماژە بەوە دەدەن کە ئەگەر هیچ گۆڕانکارییەک لە بەڕێوەبردنی ئاودا نەکرێت، ڕەوتی دابەزینی ئاوی ژێرزەوی بەردەوام دەبێت و مەترسیی گەیشتن بە ئاستی نزمتر لە ئارادایە.

٦ .دەرەنجام(Conclusion)

لە ڕۆشنایی شیکاری داتاکانی (GRACE) و مۆدێلە ئامارییەکان بۆ ناوچەی گەرمیان، دەگەینە ئەم دەرەنجامانە:

١. دۆخی ئاوی ژێرزەوی لە گەرمیان لە قۆناغی "فشار"ەوە پەڕیوەتەوە بۆ قۆناغی "داڕمان". تۆمارکردنی ئاستی -٧٢٤ ملم لە ساڵی ٢٠٢٣ ئاماژەیەکی مەترسیدارە بۆ نەمانی توانای خۆنوێکردنەوەی سروشتی.

٢. تێکڕای ساڵانەی دابەزین گەیشتووەتە -٢٧,٨ ملم/ساڵ، کە ئەمەش ڕێژەیەکی زۆر بەرزە بۆ ناوچەیەکی نیمچە-وشک.

٣. شیکارییەکان (شێوەی ٢) دەسەلمێنن کە کێشەکە لە شێی خاک (SWS) نییە، بەڵکو بەدیاریکراوی لە یەدەگی ئاوی قوڵ(Deep Aquifers) دایە، کە بەڵگەی دەستێوەردانی مرۆڤ و لێدانی بیرە قوڵەکانە.

٧ .پێشنیارەکان(Recommendations)

بۆ ڕووبەڕووبوونەوەی ئەم قەیرانە و پاراستنی هاوسەنگی بۆ گەنجینەکانی ئاوی ژێرزەوی، جێبەجێکردنی ئەم هەنگاوە ستراتیژییانە پێویستە:

١ .سنوورداکردنی دەرهێنانی ئاو :قەدەغەکردنی تەواوەتیی هەڵکەندنی بیری نوێ لە ناوچە مەترسیدارەکان (ناوچە زۆر ئاویان دابەزییوە)، لەگەڵ جێگیرکردنی پێوەری زیرەک بۆ بیرە ڕێگەپێدراوەکان بە مەبەستی کۆنترۆڵکردنی بڕی ئاوی ڕاکێشراو.

٢ .پڕکردنەوەی دەستکردی ئاوی ژێرزەوی :(MAR) دروستکردنی بەنداوی ژێرزەوی و حەوزی پاڵاوتن لەسەر ڕێڕەوە ئاوییە وەرزییەکان، بۆ گلدانەوەی ئاوی باران و خێراکردنی ڕۆچوونی ئاوەکە بۆ ناو چینە ئاوهەڵگرەکانی ژێرزەوی.

٣ .سیستەمی چاودێریی یەکگرتوو :بەستنەوەی داتای مانگە دەستکردەکان وەک(GRACE) بە پێوانە مەیدانییەکانی ئاستی ئاوی بیرەکان، بە مەبەستی دروستکردنی مۆدێلێکی ورد بۆ چاودێریکردنی بەردەوام و پێشبینیکردنی دۆخی ئاوی ژێرزەوی.

٤ .كشتوكاڵی گونجاو لەگەڵ ئاوهەوا :گۆڕینی شێوازە تەقلیدییەکانی ئاودێری بۆ سیستەمی دڵۆپاندن، و هاندانی چاندنی ئەو بەروبوومانەی کە پێویستییان بە بڕێکی کەمتر لە ئاو هەیە و بەرگەی وشکەساڵی دەگرن.

پاشکۆ :Appendix

خشتەی :(A-1) پوختەی داتای ساڵانەی گۆڕانکاریی پێکهاتە ئاوییەکان لە گەرمیان (٢٠٠٣-٢٠٢٤)

ساڵ	TWS_mm کۆی گشتی کۆگای ئاو	SWS_mm شێی خاک	GWSA_mm گۆڕانکاریی ئاوی ژێرزەوی	month_reg هاوکۆڵکەی ڕیگرێشن / ژمارەی پێنوێنی کات
2003	723.4	3638.78	-2915.41	72.32
2004	1063.7	3912.88	-2849.19	221.61
2005	687.19	3835.68	-3148.52	365.45
2006	645.81	3871.77	-3225.96	509.34
2007	226.85	3803.93	-3577.07	653.26
2008	-1092.05	3427.68	-4519.72	797.53
2009	-1737.27	3501.18	-5238.44	941.45
2010	-1257.44	3314.09	-4571.54	989.39
2011	-1792	3401.86	-5193.87	1128.73
2012	-1671.92	3049.92	-4721.83	1144.42
2013	-1370.21	2744.08	-4114.28	1140.95
2014	-1420.33	2378.98	-3799.32	1103.54
2015	-1767.88	2727.75	-4495.64	1337.53
2016	-1115.03	3041.76	-4156.8	1450.84
2017	-549.45	1690.85	-2240.29	854.48
2018	-1403.25	1972.81	-3376.06	1133.4
2019	-370.54	4084.44	-4454.95	2381.08
2020	-353.42	3851.88	-4205.27	2525.55
2021	-2165.07	3439.89	-5604.96	2669.49
2022	-3459.93	3320.83	-6780.76	2813.4
2023	-3840.17	3621.14	-7461.32	2957.3
2024	-2129.33	2833.69	-4962.99	2312.62
کۆی گشتی	-24148.3	71465.87	-95614.19	29503.68

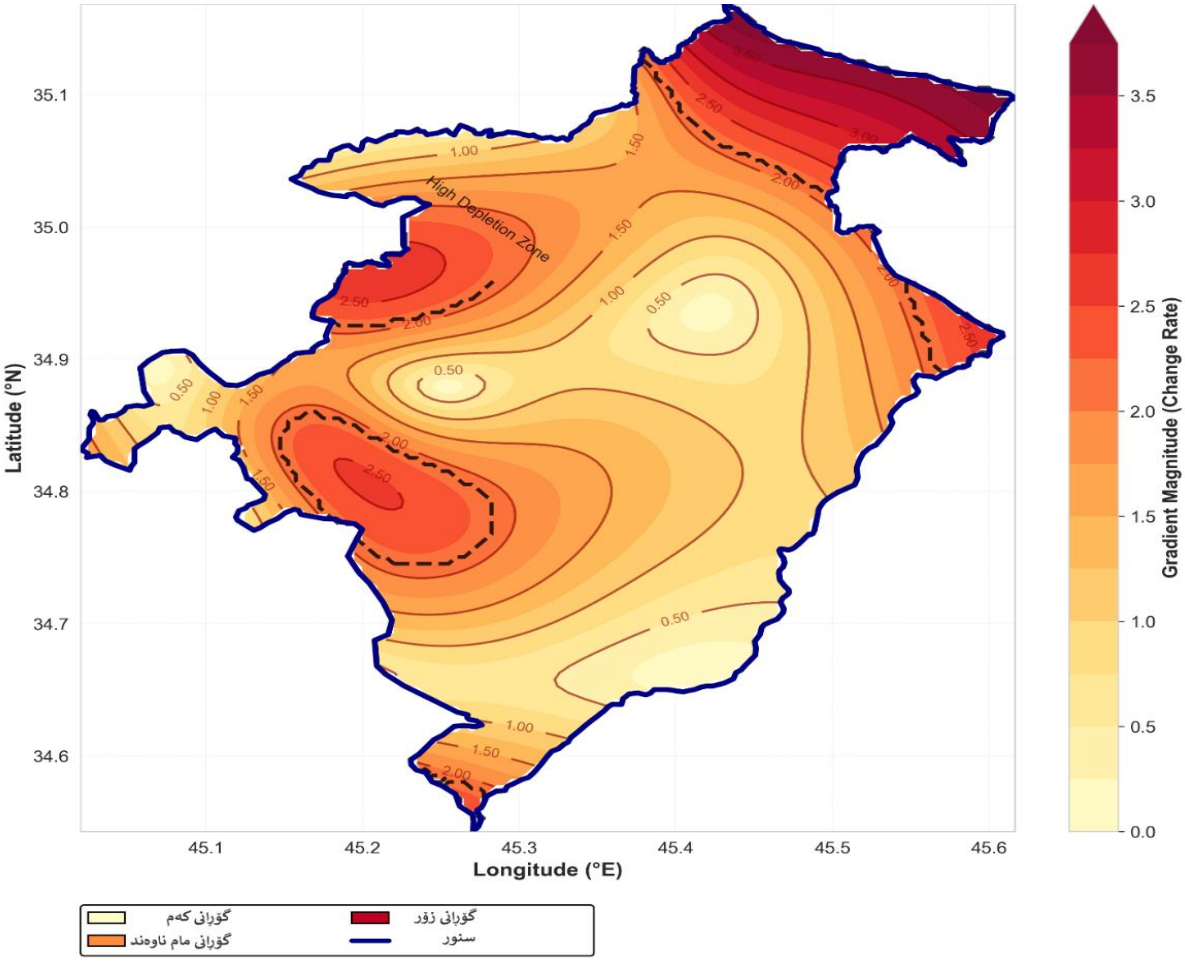
توێژەران: پشت بەست بە داتاکانی هەستکردن لەدورەوە لە ڕیگای مانگی دەستکردی (GRACE)

خشتەی :(A-2) شیکاریی دابەشبوونی وەرزی و کۆی گشتیی گۆڕانکارییە ئاوییەکان بەپێی مانگەکان (٢٠٠٣-٢٠٢٤)

مانگ	TWS_mm کۆی گشتی کۆگای ئاو	SWS_mm شێی خاک	GWSA_mm گۆڕانکاریی ئاوی ژێرزەوی	month_reg هاوکۆلکەی ڕیگرێشن / ژمارەی پێنوێنی کات
کانونی دووەم	-1302.12	6709.82	-8011.97	2669.15
شوبات	182.92	7237.79	-7054.84	2450.79
ئازار	518.73	6366.64	-5847.93	2370.94
نیسان	178.43	6355.76	-6177.34	2524.50
ئایار	-1392.06	6431.88	-7823.92	2957.81
حوزەیران	-2143.97	5527.99	-7671.98	2488.57
تەممووز	-3106.03	5422.34	-8528.38	2375.08
ئاب	-3859.65	5427.22	-9286.86	2454.55
ئەیلول	-3902.53	4861.39	-8763.89	2168.18
تشرینی یەکەم	-3968.17	5233.95	-9202.12	2302.60
تشرینی دووەم	-3076.44	5629.70	-8706.13	2283.85
کانونی یەکەم	-2277.45	6261.39	-8538.83	2457.66
تێکڕا	-2012.36	5955.49	-7967.85	2458.64

توێژەران: پشت بەست بە داتاکانی هەستکردن لەدورەوە لە ڕیگای مانگی دەستکردی (GRACE)

پاشکۆی :(A) نەخشەی لێژیی بۆشایی (Spatial Gradient) بۆ خێرایی دابەزینی ئاوی ژێرزەوی لە قەزای کەلار.



توێژەران: پشت بەست بە داتاکانی (GRACE) و خشتەی(A-1) و (A-2).

پاشکۆی (B): کورتەی شیکارییە ئامارییەکان بۆ داتای (GWSA) (٢٠٠٣-٢٠٢٤)

پێوەرە ئامارییەکان (Statistical (Metrics	بەها (Value)	ڕوونکردنەوە
ئاماری وەسفی (Descriptive (Statistics		
الوسط الحسابي ناوەندی ژمیریاری (Mean)	٥.٤١٦- ملم	تێکڕای دابەزینی ئاو لە ماوەی ٢١ ساڵدا
لادانی پێوانەیی (Standard (Deviation	٠٠.١٣٧ ملم	ئاستی هەڵبەز و دابەزی داتاکان
مەودا (Range)	٩٦.١٠٨- تا ٨٢.٧٢٤-	جیاوازی نێوان بەرزترین و نزمترین ئاست
شیکاریی ڕەوت (Trend		

		(Analysis
ڕێژەی دابەزینی مانگانە	٣٨.١- ملم/مانگ	لارەی هێڵ (Slope)
١.٤٥٪ی گۆڕانکارییەکان بەهۆی کاتەوەیە	٤٥١.٠	ڕێژەی دیاریکردن (R-squared)
زۆر واتادارە (Highly Significant) ٠٠١.٠ >	e-311,٦٨	ئەمە بەهای باوەڕپێکراوە (P-value)
دابەزینی بەردەوامی ئاوی ژێرزەوی	نەرێنی (Declining)	ئاڕاستەی ڕەوت (Trend Direction)
		پشکنینی دابەشبوون (Normality Test)
دابەشبوونەکە نائاساییە (Non-normal)	٩٨٥.٠	پشکنینی شاپیرۆ-وێڵک (Shapiro-Wilk)

توێژەران: پشت بەست بە داتاکانی (GRACE) و خشتەی(A-1) و (A-2).

٨ .سەرچاوەکان(References)

1. Al-Sudani, H. (2019). Groundwater depletion in Iraq: Evidence from GRACE data. Journal of Hydrology: Regional Studies, 26, pp. 88-95.
2. Famiglietti, J.S. (2014). The global groundwater crisis. Nature Climate Change, 4(11), pp. 945-948.
3. Joodaki, G., Wahr, J. and Swenson, S. (2014). Estimating the human contribution to groundwater depletion in the Middle East, from GRACE data, land surface models, and well observations. Water Resources Research, 50(3), pp. 2679-2692.
4. Long, D., Pan, Y., Zhou, J. and Hong, Y. (2017). Global analysis of spatiotemporal variability in merged total water storage changes using multiple GRACE products. Remote Sensing of Environment, 192, pp. 198-216.
5. Rodell, M., Famiglietti, J.S., Wiese, D.N. and Reager, J.T. (2018). Emerging trends in global freshwater availability. Nature, 557(7707), pp. 651-659.

6. Scanlon, B.R., Zhang, Z., Save, H. and Sun, A.Y. (2019). Global models underestimate large decadal declining and rising water storage trends relative to GRACE satellite data. Proceedings of the National Academy of Sciences, 115(6), pp. E1080-E1089.

7. Voss, K.A., Famiglietti, J.S., Lo, M. and Linage, C. (2013). Groundwater depletion in the Middle East from GRACE with implications for transboundary water management in the Tigris-Euphrates-Western Iran region. Water Resources Research, 49(2), pp. 904-914.

8. Wada, Y., van Beek, L.P. and Bierkens, M.F. (2012). Nonsustainable groundwater sustaining irrigation: A global assessment. Water Resources Research, 48(6), pp. 1-18.

9. Arshad, A., Mirchi, A., Taghvaeian, S. and AghaKouchak, A., 2024. Downscaled-GRACE data reveal anthropogenic and climate-induced water storage decline across the Indus Basin. *Water Resources Research*, *60*(7), p.e2023WR035882.