المحاكاة البصرية للظواهر المناخية من خلال البيانات متعددة الأبعاد باستخدام برنامج Panoply

Climate phenomena Visual Simulation using multi-diminutions data via Panoply Software

إعداد

فيصل بن سليمان المجلي

Faisal bin Suleiman Al Majali

قسم الجغرافيا - جامعة الملك سعود

Doi: 10.21608/jasg.2021.198570

استلام البحث: ١٥/ ٨ /٢٠٢١ قبول النشر: ٢٨ /٨ / ٢٠٢١

المجلي ، فيصل بن سليمان (٢٠٢١). المحاكاة البصرية للظواهر المناخية من خلال البيانات متعددة الأبعاد باستخدام برنامج Panoply . مج ٤، ع ١١، ***المجلة العربية للدراسات الجغرافية***، المؤسسة العربية للتربية والعلوم والآداب، ص ص ١٧٧ - ٢٠٢.

المحاكاة البصرية للظواهر المناخية من خلال البيانات متعددة الأبعاد باستخدام برنامج Panoply

مستخلص:

يمكن تعريف المحاكاة البصرية في إطار الدراسات المناخية بأنها قدرة الباحث التقنية على تصوير التغيرات التي تطرأ على ظواهر المناخ مع مرور الوقت، وهي واحدة من أحدث الممارسات البحثية المرتبطة بأبحاث المناخ، حيث توفر المحاكاة البصرية والتصوير الرقمي معاً الفرصة لكشف التغيرات والأنماط والسلوك الذي يطرأ على عناصر الغلاف الجوي مع مرور الوقت، وذلك بهدف فهم طبيعة وتوزيع ونهج هذه النظم الطبيعية بالغة التعقيد من جهة، والمساهمة من جهة أخرى في توفير مادة سهلة الإستيعاب يمكن الإعتماد عليها عند تقديم التوصيات والسياسات المرتبطة بالمناخ. تركز هذه الورقة على الإشارة لمدى أهمية تطويع البيانات المناخية المكانية وتحقيق أقصى استفادة ممكنه منها من خلال عمليات المحاكاة البصرية والتصوير الرقمي، وذلك من خلال تقديم دليل عملي مختصر يساعد الباحثين في الجغرافيا والمناخ على محاكاة وتصوير نتائجهم البحثية استناداً على البيانات متعددة الأبعاد باستخدام برنامج بانوبلي (Panoply). يعد بانوبلي منصة مجانية علمية متعددة التخصصات من إنتاج إدارة (NASA) مخصصة لعمليات محاكاة وتصوير البيانات متعددة الأبعاد، حيث يستخدم البرنامج واجهة عرض رسومية سهلة الإستخدام تتيح عدداً من الخيارات المتعلقة بالتصوير والمحاكاة دون الحاجة لخبرات تقنية متقدمة، حيث يمكن إنتاج الخرائط المتحركة (Animation Maps) والمخططات العرضية (Zonal Averages) ومخططات هوفمولر (Hovmöller diagrams) وغيرها من المنتجات، كما يتيح البرنامج بعضاً من الخصائص الجيومكانية والكارتوغرافية مثل التطابق وإشتقاق البيانات والترميز الخطي لبيانات الرياح مع إضافة خطوط التساوي وتعديل المساقط والترميز اللوني والعنونه وتعديل المقاييس وغيرها، وذلك بهدف تقديم منتج علمي صحيح من الجهة المناخية والكارتوغرافية معاً.

كلمات مفتاحية: محاكاة، تصور، المناخ، البيانات متعددة الأبعاد، برنامج بانوبلي

Abstract:

Visual-simulation in the framework of climate studies can be defined as the researcher's technical abilities to visualize changes in climate phenomena over time, and it is one of the latest research practices related to climate studies, where visual simulations and visualizations together provide the opportunity

to detect changes, patterns, and behaviors that affects the Atmosphere elements over time, aiming of understanding the nature, distribution, and the approach of these highly complex natural systems in one hand, and on the other, contributing to providing an easy way that can be relied upon when providing climate-related recommendations and policies. This paper focuses on pointing to the importance of recruitment spatial climate data and making the most of it through visual simulations and visualization, by providing a brief practical guide that may help the climatology and Geography community to simulate and visualize their research results based on multi-dimensions data using Panoply software. Panoply is a free, multidisciplinary scientific platform produced by NASA made for multidimensional data visualization and simulation operations. The program uses an easy-to-use graphical interface (GUI) that allows several visualization options without a need for advanced technical skills, where it possible to produce Animation maps, Zonal Averages, Hovmöller diagrams, and other products. The program also provides some geospatial and cartographic options such as Overlaying, Interpolation, Contouring, and encoding winds using vector data, as well as some other options like color symbology, labeling, and modifying units, etc., aiming of presenting a correct scientifically product from the climatic and cartographic aspects.
Key Words: Simulations; Visualization; Climate phenomena, Multi-diminutions data, Panoply

١. مقدمة

تلعب عمليات المحاكاة البصرية (Visual Simulation) التي تعتمد على البيانات الزمانية والمكانية اليوم دوراً بالغ الأهمية في الكثير من التخصصات والعلوم الرئيسية (Wang, et al., 2008, P. 1547)، وتكون الحاجة ملحة لتطبيق مثل هذه الممارسات البحثية خصوصاً اذا ما كانت متعلقة بظواهر بالغة التعقيد مثل الظواهر المناخية، من جانب آخر، تساهم نتائج المحاكاة البصرية في تقديم مزيد من الفهم والأدلة لطبيعة وسلوك الظواهر المناخية بين الماضي والحاضر والمستقبل،

وهي التي بدورها تساعد في عملية صناعة السياسات المناخية وإتخاذ القرارات بشكل صحيح (Sanga, et al., 2013, P. 223).

منذ مطلع الثمانينات تقدم لنا تكنولوجيا الحاسب الآلي مزيداً من الإجابات على تساؤلات مناخية معينة، نعرف إجابتها بالفعل لكن لا نستطيع مشاهدتها على أرض الواقع، فعلى سبيل المثال يعرف الجغرافيون والمناخيون منذ القدم عن ظاهرة نسيم البر والبحر ومسبباتها ونتائجها، ولكن من شاهدها بالفعل وهي تتفاعل على مستوى الزمان والمكان بين النظم الطبيعية والبشرية على مستوى منطقة ساحلية كاملة أو على مستوى دولة؟ هنا يأتي دور المحاكاة البصرية المتمثلة في قدرة برامج الحاسب الآلي على قراءة البيانات متعددة الأبعاد التي تهدف إلى بناء تصور قائم على محاكاة التغيرات الطبيعية للظواهر المناخية بصرياً كما هي على أرض الواقع (أو أقرب ماتكون على أرض الواقع) من أجل أن نشاهد مانعرفه بالفعل أو حتى مالا نعرفه بعد!.

من المهم الإشارة هنا إلى الفروق المتعلقة بمصطلحات المحاكاة (Simulation) والتصور أو التمثيل الرقمي(Visualization) والمحاكاة البصرية (Visual Simulation) المعتمدة على البيانات متعددة الأبعاد داخل إطار الدراسات المناخية، حيث أن المحاكاة (Simulation) تعد المخرج الناتج من عمليات تشغيل نماذج المناخ (Climate Models) التي تهدف إلى فهم وإدراك خصائص وسلوكيات النظام المناخي والذي يمكن من خلاله أيضاً تطبيق سيناريوهات مختلفة لمتابعة التغيرات التي قد تطرأ على النظام (NOAA, 2014)، بينما تتيح لنا تقنيات التصور أو التمثيل الرقمي (Visualization) عرض تلك البيانات الناتجة من عمليات المحاكاة في شكل نماذج ومخططات بيانية وخرائط حرارية تمثل التوزيع والتغيرات التي تطرأ على ظاهرة ما خلال فترة زمنية محددة (Visual Components, 2017)، وأخيراً، يشير مصطلح المحاكاة البصرية (Visual Simulation) إلى تصور البيانات المناخية المتغيرة بمرور الوقت، وهو حجر الأساس نحو التكامل بين المحاكاة والتصور في وقت واحد (Kuljis, et al., 2001, P. 141)، حيث تُعرض نتائج المحاكاة في أشكال ومخططات بيانية ذات مرجعية جغرافية (Georeferenced) على شكل خرائط متحركة تتفاعل وتتغير وفق خصائصها الزمانية والمكانية، والتي تتيح بدورها مزيداً من الفهم والإدراك لطبيعة وسلوك الظاهرة وهو المبحث الرئيس لهذه الورقة.

يقدم هذا البحث دليلاً عملياً يُستعرض من خلاله قدرات وإيجابيات وسلبيات برنامج بانوبلي (Panoply) أحد منتجات معهد غودارد للدراسات الفضائية (Goddard Institute for Space Studies - GISS) التابع للإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (NASA) حيث يعتبر بانوبلي منصة مجانية متعددة التخصصات تتيح

للباحثين فرصة إجراء المحاكاة البصرية (Visual Simulation) والتمثيل الرقمي (Visualization) لعدد مختلف من صيغ البيانات الجيومكانية، وذلك بهدف تقديم مزيد من الفهم والتوضيح لسلوك الظواهر الطبيعية والبشرية ذات البعد الجغرافي والتي سيتم مناقشتها بالتفصيل لاحقاً في هذا البحث.

٢. أهمية البحث

يساهم الجغرافيون اليوم بمختلف تخصصاتهم في إثراء المكتبة المناخية في دراسات التمثيل والتحليل المكاني للبيانات المناخية، خصوصاً من خلال عمليات التصور أو التمثيل الرقمي (Visualization) المتمثلة تحديداً بإنتاج الخرائط (Mapping)، والتي تمثل في نهاية المطاف المنتج النهائي لعدد من عمليات المعالجة والتحليل للبيانات المناخية باستخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية (Geographical Information Systems) (Rhyne, 2003, P. 7). وعلى الرغم من التطور الكبير الذي شهدته برامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS) على مر السنوات في قدراتها على معالجة وتحليل البيانات المناخية ذات البعد المكاني، إلا أن هذه البرامج لاتزال تواجه صعوبة في التعامل مع البيانات الزمانية والمكانية (Spatiotemporal) وذلك لأن طبيعة وخصائص بيانات المناخ تأتي على الأقل في ٣ أبعاد رئيسية وفي حال إضافة المتغير الزماني فهي تأتي في ٤ أبعاد (بعدين يمثلان موقع الظاهرة على خطوط الطول ودوائر العرض، وبعد ثالث يمثل قيمة الظاهرة، ومتغير رابع يمثل البعد الزماني لهذه الظاهرة)، ولهذا يشير (Wang, 2014, P. 361) إلى أن برامج نظم المعلومات الجغرافية لاتزال محدودة القدرات في إمكانياتها المتعلقة بمحاكاة وتصور الخصائص الديناميكية للمتغيرات الزمانية والمكانية وذلك للظواهر الطبيعية والبشرية على حد سواء.

ونتيجة لذلك، فقد دعت الحاجة في السنوات الأخيرة إلى ظهور كثير من التطبيقات والبرامج التي ساهمت في ملئ هذه الفجوة التقنية، حيث تزخر اليوم المكتبة المناخية بتطبيقات مجانية وأخرى مفتوحة المصدر من مراكز ومعاهد أبحاث عالمية مثل إدارة المحيطات والغلاف الجوي (NOAA) والإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (NASA) التي قدمت مع غيرها من المراكز على سبيل المثال لا الحصر عدة منصات مثل قرادز (GrADS) وميتيوإنفو (MeteoInfo) و جيوفاني (Giovanni) وبانوبلي (Panoply) والتي قد تختلف فيما بينها في القدرات المتعلقة بمعالجة وتحليل البيانات المناخية المكانية، ولكن تتفق في الغرض الرئيسي من إنشاءها وهي المحاكاة البصرية للظواهر المناخية بالدرجة الأولى.

عوضاً عن ذلك، فإنه وبقدر كبير من الثقة نستطيع القول بأن المكتبة العربية المناخية اليوم تعاني بشكل كبير من نقص الأبحاث المتعلقة بالمحاكاة البصرية للظواهر المناخية والنظم الطبيعية والبشرية على حد سواء، حيث تسود فكرة بين كثير من

الجغرافيين إلى أن المحاكاة البصرية والتمثيل الرقمي يتطلب مهارات تقنية وحاسوبية وبرمجية متقدمة لاتوفرها المدرسة الجغرافية العربية في مختلف مراحلها الدراسية، وأن الطريق نحو ممارسة تلك المنهجيات البحثية مرتبط فقط ببرامج نظم المعلومات الجغرافية التجارية مثل (ArcGIS) وحسب، والحقيقة أن ذلك غير صحيح، حيث أن أغلب البرامج المجانية ومفتوحة المصدر مثل قرادز وميتيوإنفو وبانوبلي وغيرها لاتتطلب هذا القدر من المهارات المتقدمة، وفي نفس الوقت، تقدم نتائج ملموسة ومشاهدة يستطيع الجغرافي من خلالها استعراض بياناته بأشكال متخلفة لتقديم مزيد من الأدلة والفهم، وهو ما يضيف قدراً أكبر من الموثوقية على نتائج الدراسة والتي بدورها ستقود إلى صناعة القرار بشكل صحيح.

إن الحاجة الملحة لمثل هذه الممارسات البحثية قد ترتبط بأمرين رئيسيين، الأول أن الظواهر المناخية تحديداً من بين كل الظواهر الأخرى هي ظواهر بالغة التعقيد تتفاعل وتؤثر وتتأثر مع جميع الأنظمة الطبيعية والبشرية الأخرى في فضاء مفتوح ولفترات زمنية غير محدودة تعود حتى ملايين من السنين وتستمر حتى عدة عقود في المستقبل، والثاني أن هذه الظواهر اليوم أصبحت لاعباً رئيسياً في سياسات كثير من الدول نتيجة تأثيرها على النظم الإقتصادية والإجتماعية من خلال مايعرف بظواهر التغير المناخي والإحتباس الحراري، وعند هذا المنطلق، فإن تعدد المهارات التقنية والحاسوبية المتعلقة بجمع وإدخال ومحاكاة وتصور البيانات ذات البعد المكاني سواء في الجانبين الطبيعي أو البشري باستخدام أكثر من برنامج ومنصة تقنية من الممكن أن تضيف للدراسات المناخية مزيداً من التميز والإقناع ليس من أجل صناعة توصيات وسياسات منطقية فحسب، وإنما أيضاً من أجل تقديم مزيد من الفهم لهذه الظواهر بالغة التعقيد، وهذا ماتسعى إليه هذه الدراسة من خلال إستعراض القدرات والمزايا التي يقدمها برنامج بانوبلي (Panoply) بصفته الرئيسية المتعلقة بالمحاكاة البصرية للظواهر المناخية المكانية.

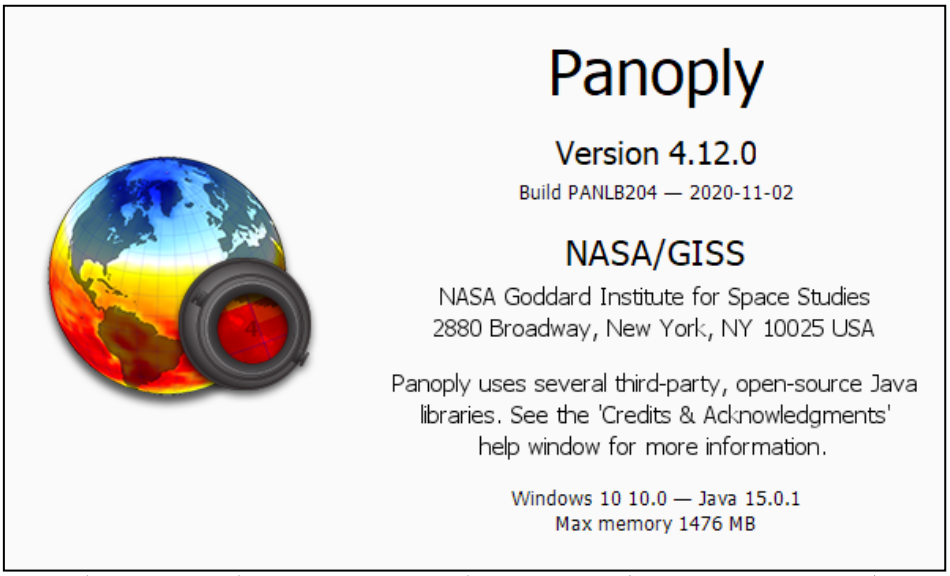
٣. برنامج بانوبلي

يشير قاموس اكسفورد[1] إلى أن (Panoply) تعني إصطلاحا "العدد أو المجموعة الكبيرة من الأشياء المثيرة للإعجاب"، وبانوبلي[2] هو عبارة عن برنامج (Software) مجاني في شكل منصة متعددة التخصصات (Cross-Platform) تعمل بلغة البرمجة جافا (JAVA) على جميع أنظمة التشغيل المعروفة منذ عام ٢٠٠٢ (GISS, n.d.)، كما يستخدم البرنامج واجهة عرض رسومية

[1] أنظر: (Oxford Dictionary 2nd ed.)
https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/panoply

[2] الصفحة الرئيسية لبرنامج بانوبلي: https://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/

(Graphical User Interface - GUI) سهلة الإستخدام تتيح للمستفيدين في مختلف التخصصات الجغرافية إمكانية إجراء عمليات المحاكاة البصرية والتمثيل الرقمي للبيانات الشبكية (Raster Data) المتمثلة بالصور الفضائية و البيانات المناخية المكانية متعددة الأبعاد والمرجعة جغرافيا (Geo-Referenced) (Schmunk, 2009).



شكل رقم ١: واجهة تشغيل برنامج بانوبلي إصدار ٤,١٢,٠ لعام ٢٠٢٠. المصدر: إعداد الباحث

ظهر الإصدار الأول من برنامج بانوبلي (Panoply 1.0 Version) في شهر ديسمبر ٢٠٠٢ واستمرت التطورات والإصلاحات في البرنامج حتى صدور النسخة السابعة من الإصدار الرابع (Panoply 4.12.7 Version) في شهر يونيو ٢٠٢١ (NASA, 2021) والذي يتيح العمل على ٣ أنواع رئيسية من البيانات العلمية وهي، نموذج بيانات الشبكة المشتركة (Network Common Data Form) المرموز له بـ (NetCDF)، ونموذج البيانات الهرمية (Hierarchical Data Format) المرموز له بـ (HDF)، وأخيراً نموذج بيانات المعلومات العامة الموزعة بانتظام باستخدام نموذج بياناري[3] (General Regularly-distributed

[3] أنظر: (The Weather Window: GRIB Files) weather.mailasail.com/Franks-Weather/Grib-Files-Getting-And-Using

(Information in Binary form المرموز له بـ (GRIB)، حيث يتعامل بانوبلي بكفاءة مع هذه النماذج البيانية المرتبطة بشكل رئيس بالمعلومات المناخية ومخرجات المحاكاة من النماذج العددية.

تجدر الإشارة هنا إلى أن سهولة الإستخدام المرتبطة ببرنامج بانوبلي تعود إلى توفر واجهة عرض رسومية[4] (GUI) بسيطة وسهلة التعامل، تتيح للمستخدم بسهولة استيراد البيانات المناخية وتحديد الطريقة المناسبة لمحاكاتها بصرياً سواء في شكل خرائط (Maps) أو في شكل مخططات هوفمولر (Hovmöller diagrams)، أو تصويرها وتمثيلها رقمياً في أشكال ونماذج مختلفة، عوضاً عن ذلك، تتيح الواجهة خيارات كارتوغرافية مختلفة، مثل تعديل مقياس الرسم (Scale) وإختيار المساقط المناسبة (Projection) وتعديل العناوين والنصوص (Labels) وتغيير خصائص الترميز اللوني من بين أكثر من ١٥٢ ترميز لوني مختلف، بالإضافة لإمكانية إجراء إشتقاق مكاني للبيانات المناخية (Interpolate) وإضافة خطوط الكنتور (Contour) وذلك لتحسين طريقة العرض الكارتوغرافية للبيانات المناخية، مع خيارات ومميزات مختلفة سيتم الإشارة لها بالتفصيل لاحقاً. وبالرغم من ذلك،لايعد بانوبلي في الوقت نفسه بيئة قوية لنظم المعلومات الجغرافية (Wang, 2019, P. 2) حيث أن الخصائص المتقدمة المرتبطة بمعالجة وتحليل البيانات المكانية لاتتوفر بشكل كامل في بيئة البرنامج، إلا أن قدراته المتعلقة بقراءة وتصوير نماذج البيانات متعددة الأبعاد جعلته واحداً من أهم الأدوات المستخدمة لدى الكثير من المتخصصين في علم المناخ.

من الجدير بالذكر الإشارة هنا إلى أن بانوبلي لايرتبط فقط بكونه أداة مخصصة لعمليات المحاكاة البصرية والتصوير الرقمي للظواهر المناخية فحسب، حيث يمكن استخدام البرنامج كأداة فعّالة في عمليات الإستشعار عن بعد (Remote Sensing) وذلك من خلال تطبيقات اسكتشاف (Exploring) واستعراض (Visualize) بيانات وصور الأقمار الصناعية، حيث أن دعم البرنامج لنماذج البيانات الخلوية مثل نموذج البيانات الهرمية[5] (HDF) ونموذج بيانات الشبكة المشتركة[6] (NetCDF) ساهم في تمكين مجتمع الإستشعار عن بعد من تطويع هذه الأداة لخدمة أغراضهم البحثية في مختلف المجالات، إضافة إلى ذلك، يستخدم بانوبلي في بعض الجامعات

[4] أنظر: (Levy, 2018) https://www.britannica.com/technology/graphical-user-interface

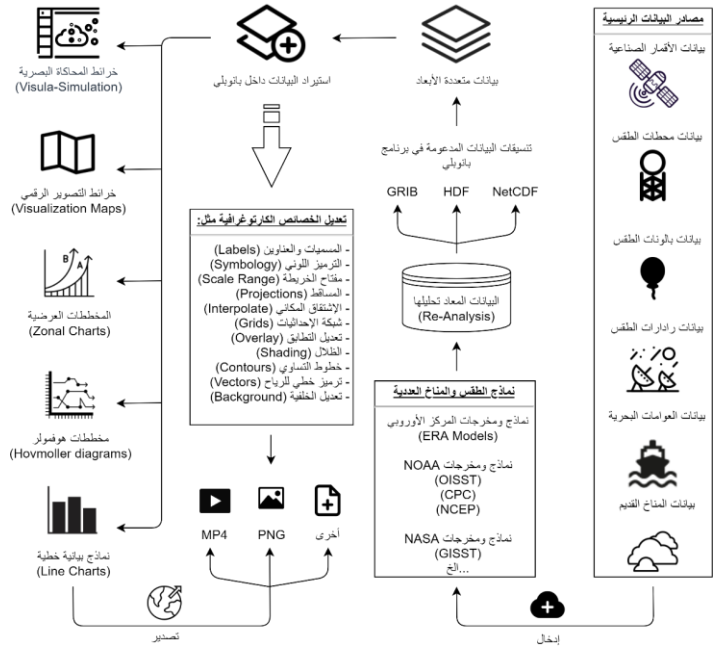
[5] أنظر: (ASDC, NASA) https://asdc.larc.nasa.gov/documents/ceres/readme/hdf.pdf

[6] أنظر: (Unidata) https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/docs/

كأداة مهمة لتصوير التغيرات والتفاعلات الطبيعية للبيئة وذلك كوسيلة تعليمية مهمة في بعض البرامج الدراسية (Carn, 2019).

٣,١ إطار عمل بانوبلي

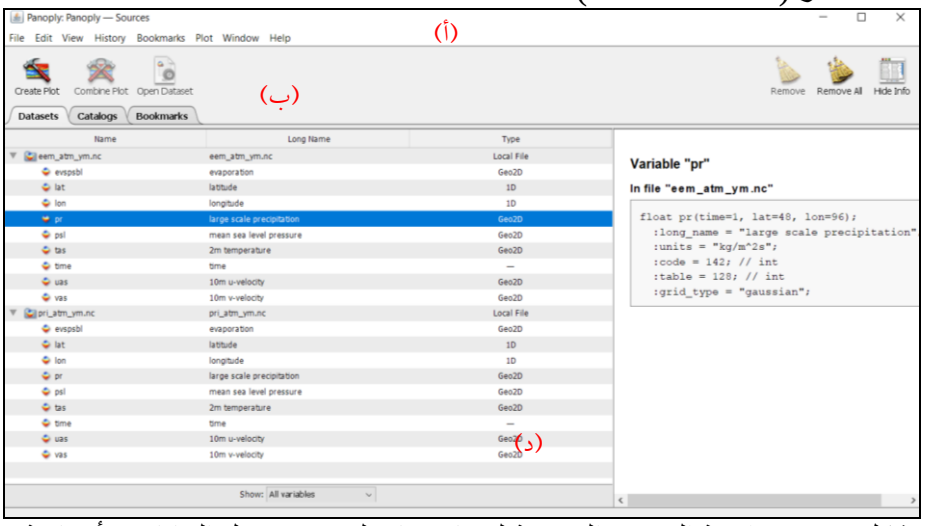
تتمثل آلية إطار العمل (Flowchart) في برنامج بانوبلي (شكل رقم٢) في سلسلة من الخطوات والممارسات التي تهدف في نهاية المطاف إلى الحصول على مزيد من المعلومات حول ظاهرة ما من خلال محاكاتها وتصويرها رقمياً، ولعل أولى منابع هذه السلسلة تبدأ بالمصادر الرئيسية للبيانات وهي البيانات المستشعره عن بعد (Remotely Sensed Data) وبيانات المراصد (Observation Data)، والتي يتم إدخالها ومعالجتها وتحليلها وفق خوارزميات فيزيائية ورياضية معقدة داخل نماذج المناخ (Climate Models) حتى تخرج في ٣ تنسيقات بيانية رئيسية معاد تحليلها (Re-Analysis) وهي تنسيقات (NetCDF) و (HDF) و (GRIB) والتي يتم استيرادها داخل بانوبلي بغرض محاكاتها وتصويرها تبعاً لأهداف المستخدم، ثم إجراء التعديلات الكارتوغرافية، وأخيراً تصدير تلك المخرجات في أشكال صور وخرائط متحركة بامتدادات مختلفة والتي سيتم الإشارة لها بالتفصيل في هذا البحث.



شكل رقم ٢: إطار العمل في برنامج بانوبلي. المصدر: إعداد الباحث

٣,٢ واجهة عرض البرنامج الرئيسية

كما تمت الإشارة فإن بانوبلي يستخدم واجهة عرض رسومية (GUI) سهلة الإستخدام والتعامل تتيح للمستخدم إجراء مختلف العمليات بشكل مباشر، حيث يمكن من خلال هذه الواجهة استيراد وفتح البيانات المطلوب عرضها ومحاكاتها (شكل رقم ٣)، كما تتيح هذه الواجهة إمكانية الإطلاع على البيانات المصاحبة (Meta Data) والتي تشمل كافة المعلومات التفصيلية المصاحبة للبيانات مثل اسم الملف ومصدره ونوع البيانات وامتدادها ومعلومات تفصيلية أخرى، كما يمكن كذلك الإطلاع على قاعدة البيانات التي تم تحميلها على البرنامج وتشمل كافة المتغيرات المكانية والوصفية المصاحبة للبيانات، والتي تمكن المستخدم من اختيار نوع البيانات المطلوب محاكاته أو تمثيله سواء كان لمتغير واحد من خلال (Create Plot)، وأيضاً إمكانية إجراء المقارنات للوصول إلى مخرجات تتعلق مثلاً بمستويات الشذوذ أو التطرف المرتبطة بالمقارنة بين متغيرين في فترتين زمنيتين منفصلتين وذلك من خلال الأمر (Combine Plot).



شكل رقم ٣: واجهة العرض الرئيسية لبرنامج بانوبلي بعد تحميل البيانات. (أ) قائمة المهام الرئيسية. (ب) خيارات إنشاء المحاكاة والتصوير الرقمي. (ج) قائمة البيانات المصاحبة. (د) معلومات البيانات المضافة للبرنامج. المصدر: إعداد الباحث

٤. متطلبات النظام والبيانات المدعومة

يتمتع برنامج بانوبلي من حيث البيئة البرمجية بعدة مزايا مهمة ولعل من أبرزها إمكانية استخدام البرنامج على الكثير من أنظمة التشغيل، مثل مايكروسوفت

(Microsoft) وماكنتوش (Macintosh) ولينكس (Linux) وغيرها من الأنظمة المعروفة، إلا أنه وللإستفادة
من البرنامج داخل هذه الأنظمة فإنه من الضروري توفر الإصدار التاسع على الأقل من برنامج جافا (JAVA) مثبتاً على الجهاز خصوصا لتلك الإصدارات الحديثة من برنامج بانوبلي (GISS, n.d.). من جانب آخر، فإنه على عكس الكثير من برامج ومنصات محاكاة وتصور البيانات العلمية فإن بانوبلي لا يتطلب أي مهارات أو خبرات برمجية (Data ONE, n.d.) حيث أن البرنامج يوفر واجهة عرض رسومية سهلة التعامل تتيح للمستخدمين كافة الأدوات والنوافذ بدون الحاجة لأي أوامر برمجية.
تم تطوير برنامج بانوبلي ليتعامل بكفاءة مع عدد مختلف من تنسيقات البيانات الشبكية (جدول رقم١)، حيث يتيح البرنامج فرصة عرض ومحاكاة وتصوير مخرجات النماذج المناخية (Climate Models) التي تتمثل غالباً في صيغ بيانات الشبكة العامة (NetCDF) والبيانات الهرمية (HDF)، حيث أن هذه البيانات صممت تحديداً لتحوي أبعاداً مختلفة من البيانات الجيومكانية التي تتمثل غالباً في أربعة أبعاد مختلفة (X, Y, Z, T) تمثل بيانات (خطوط الطول، ودوائر العرض، قيمة المتغير، والمتغير الزماني)، إضافة إلى ذلك، يتيح بانوبلي فرصة التعامل مع بيانات (GRIB) وهي عبارة عن صيغة بيانية طورتها منظمة الأرصاد العالمية (WMO) لتمثل مخرجات المحاكاة من نماذج الطقس العددية (Weather Numerical Models) المرتبطة بمجتمع الأرصاد الجوية والغلاف الجوي.

جدول رقم ١:تنسيقات البيانات المدعومة في برنامج بانوبلي[7] . المصدر: إعداد الباحث

اسم البيانات	تنسيق البيانات	نوع البيانات	صعوبة التعامل	الجهة المطورة	المستخدمين
Network Common Data Form	NetCDF	شبكية	متوسطة و تتطلب برنامج Software أو واجهة برمجة التطبيقات API	UniData	مجتمع المناخ والإستشعار عن بعد
Hierarchical Data Format	HDF	شبكية	صعبة وتتطلب برنامج Software أو واجهة برمجة التطبيقات API	مجموعة HDF و NASA	مجتمع المناخ والإستشعار عن بعد
General Regularly-distributed Information in Binary form	GRIB	شبكية	صعبة وتتطلب برنامج Software أو واجهة برمجة التطبيقات API	منظمة الأرصاد العالمية WMO	مجتمع الأرصاد والغلاف الجوي

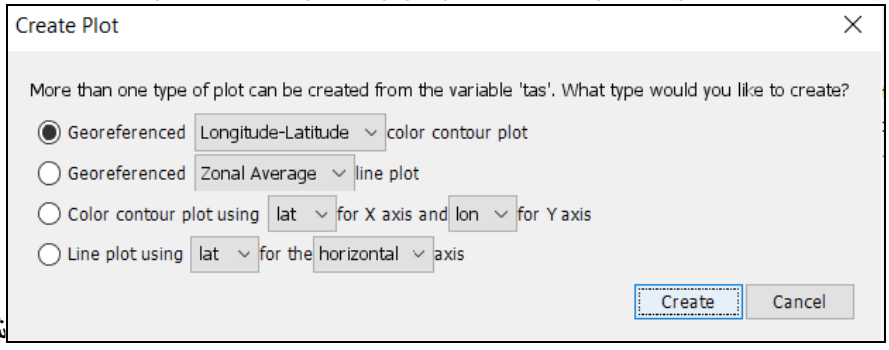
٥. خيارات المحاكاة البصرية والتصوير الرقمي

يعطي برنامج بانوبلي للمستخدم فرصة إجراء عمليات المحاكاة البصرية والتصوير الرقمي للبيانات في أشكال ونماذج ومخططات مختلفة تبعاً لأهداف المستخدم، حيث يمكن بعد تحميل البيانات المطلوبة من خلال واجهة العرض الرئيسية (شكل رقم ٣) تحديد نوع البيانات المطلوب عرضه أولاً ثم إختيار الأمر (Create Plot) حيث يمكن للمستخدم الآن تحديد نوع المحاكاة والتصوير الرقمي المناسب لدراسته، فعلى سبيل المثال يمكن تصوير البيانات ومحاكاتها في شكل خريطة من خلال اختيار الأمر الأول (Georeferenced: Longitude-Latitude) كما في (شكل رقم ٤)، بينما يتيح الخيار الثاني (Georeferenced:

[7] بالإستناد على (Wang, 2014, P. 361)، (Fouilloux, 2021) ، و(Unidata, n.d.).

(Zonal Average إمكانية إنشاء مخطط عرضي للبيانات يتيح فرصة الإطلاع على معدل التغيرات الإقليمية على مستوى دوائر العرض بين النصف الشمالي والجنوبي من الكرة الأرضية (Hawkins, 2017)، كما يمكن أيضا إنشاء مخطط هوفمولر (Hovmöller diagrams) الذي يحاكي بدوره التغيرات التي تطرأ على البيانات على محوري دوائر العرض وخطوط الطول أو باستخدام أحد هاذين المتغيرين مع متغير زماني يمثل متوسط نشاط تلك القيم خلال فترة معينة وذلك من خلال الأمر (Color Contour Plot)، بينما يتيح الخيار الأخير إمكانية إنشاط نموذج بياني يصور التغيرات التي تطرأ على البيانات مع تحديد المحاور الأفقية والرأسية التي يختارها المستخدم من خلال (Line plot).

تجدر الإشارة إلى أن هذا الكم من الخيارات المتعلقة بالمحاكاة والتصور يرجع تحديدهاً إلى أمرين مهمين، الأول خصائص البيانات المستوردة على النظام، فبعض البيانات لاتتيح إجراء المحاكاة الزمانية والمكانية إذا كان المتغير الزماني لا يحوي سوى فترة واحدة (يوم أو متوسط سنة مثلاً)، بينما يعود الأمر الثاني إلى أهداف المستخدم، فإذا كانت الأهداف مرتبطة بكشف التغيرات العالمية فإن الخريطة تعد مثالية لذلك، لكن إن كان الهدف الكشف على التغيرات الإقليمية على مستوى عرضي فإن المخططات العرضية أو مخططات هوفمولر قد تكون مناسبة أكثر.



شكل رقم٤: خيارات المحاكاة البصرية وتصوير البيانات في برنامج بانوبلي. (أ) إنشاء خريطة، (ب) إنشاء مخطط عرضي، (ج) إنشاء مخطط هوفمولر، (د) إنشاء مخطط بياني للبيانات. المصدر: إعداد الباحث

٥,١ الخرائط

من المعروف أن الخريطة هي أفضل وسيلة لتمثيل لسطح الأرض وماعليه من ظواهر، وفي بانوبلي كذلك تعد الخيار الأمثل لتقديم أفضل محاكاة بصرية لتوزع وإنتشار الظواهر المناخية، خصوصاً اذا كان الهدف كشف التغيرات على مستوى الزمان، حيث يتيح البرنامج في حال توفر البيانات متعددة الأبعاد

(Multidimensional) إمكانية محاكاة تلك التغيرات بصرياً ليس بهدف زيادة مستوى الإثارة أو خلق مادة مثيرة للإعجاب، وإنما لمحاولة تقديم مزيد من الفهم والإدراك لسلوك ونهج الظواهر الطبيعية بالغة التعقيد، لاسيما إذا أدركنا أن مخرجات نماذج المناخ والطقس ليست سوى أرقام وقيم إذا لم يتم عرضها وتصويرها ومحاكاتها كما هي في الواقع، وهي التي تتيح لنا فرصة قراءة تلك المخرجات وتحليلها بصرياً بهدف فهم سلوك الظاهرة والتأثير المتبادل بين هذه الظواهر والمتغيرات الطبيعية والبشرية من حولها.

في بانوبلي من خلال الأمر (Georeferenced: Longitude-Latitude) في واجهة البرنامج يمكن عرض المتغيرات على شكل خريطة متحركة (Animation Map) كما في (شكل رقم ٥) حيث يمثل الشكل مقاطع مجتزأة لعدد من عمليات المحاكاة البصرية لبعض المتغيرات المناخية، والتي تمثل في (شكل: أ) إنحراف درجة حرارة سطح البحر (SST) في الأول من يناير ٢٠٢١ عن خط الأساس ١٩٧١-٢٠٠٠م استناداً على نموذج البيانات عالي الوضوح (OI SST V2) من إدارة (NOAA)، حيث يمكن من خلال هذا التمثيل مثلاً متابعة التغيرات التي تطرأ على درجة حرارة سطح البحر نتيجة أنماط مناخية مختلفة مثل ظواهر (النينيو والانينيا)[8] في المحيط الهادئ، وظواهر محيطية أخرى بالغة التعقيد مثل (الأمواج الداخلية)[9] شمال الهادئ والأطلسي و (موجات روسبي المحيطية)[10] غرب الهادئ والتي لم يكن من الممكن مشاهدتها لولا هذا النوع من المحاكاة البصرية. في الجانب الآخر، يمثل (شكل: ب) متوسط درجة حرارة اليابسة (ST) خلال شهر مارس ٢٠٢١ وذلك بالإستناد على نموذج البيانات عالي الوضوح (ERA5) من مركز (ECMWF). بينما يمثل (شكل: ج) سرعة وإتجاه الرياح السطحية على ارتفاع ١٠م في الأول من يونيو ٢٠٢١ وذلك في تمام الساعة ١٢ ظهراً بتوقيت غرينتش، حيث أنه من خلال هذا الشكل يمكن أن نقرأ ونلاحظ نشاط ظواهر ضخمة مثل الرياح الموسمية الرطبة (المونسون)[11] وهي في أوج نشاطها في بحر العرب شمال المحيط

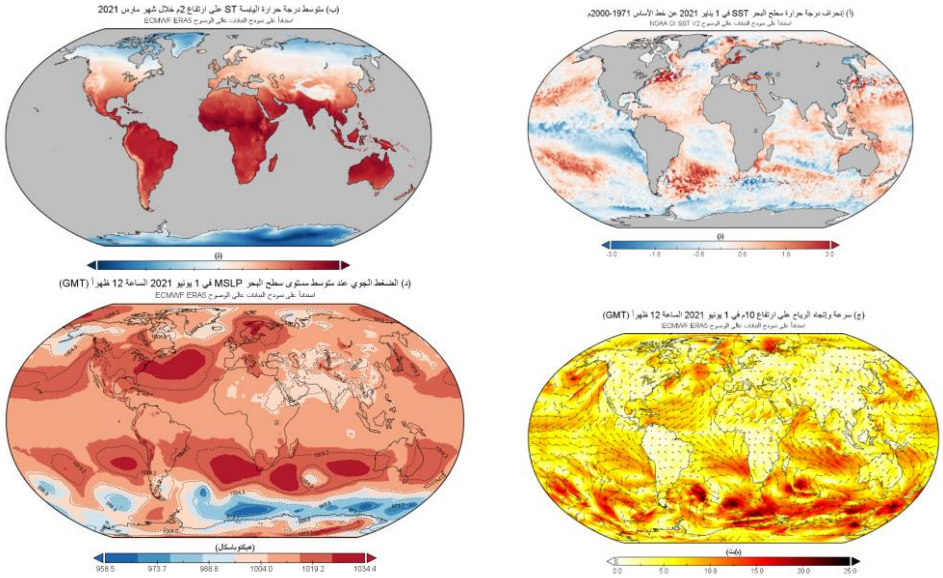
[8] أنظر: (BOM, n.d.) http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/ln-2010-12/ENSO-what.shtml

[9] أنظر: (Alpers, 2014) https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-0-387-36699-9_118

[10] أنظر: (NOAA, n.d.) https://oceanservice.noaa.gov/facts/rossby-wave.html

[11] أنظر: (Singh, 1970) https://www.magadhuniversity.ac.in/download/econtent/pdf/Mechanism%20of%20Indian%20Monsoon.pdf

الهندي، أو ظواهر أخرى مثل الرياح التجارية وهي تتدفق بإتجاه المناطق الإستوائية بوضوح في المحيط الأطلسي والهادئ وفوق القارة الأفريقية ومناطق أخرى حول العالم. وأخيراً، يمثل (شكل: د) الضغط الجوي عند متوسط مستوى سطح البحر (MSLP) في الأول من يونيو ٢٠٢١ الساعة ١٢ ظهراً، حيث يمكن ملاحظة نشاط ظواهر مختلفة مثل منخفض الهند الموسمي على شبه القارة الهندية ونشاط مرتفع الآزور شمال الأطلسي، حيث يمكن مراقبة وتتبع نشاط مثل هذه الظواهر وظواهر مناخية أخرى لإضافة مزيد من الفهم والإدراك فيما يتعلق بتوزيع وإنتشار هذه النظم المناخية وتأثيراتها المحتملة على حالة الطقس والمناخ في مختلف أنحاء العالم، وهو الأمر الذي لم يكن ليتحقق بشكل كاف لولا مثل هذه الممارسات البحثية المتعلقة بالمحاكاة المناخية.



شكل رقم٥: مقاطع مجتزأة من عمليات المحاكاة البصرية لعدد من الظواهر المناخية باستخدام عدة نماذج مناخية من خلال برنامج بانوبلي[12]. (أ) إنحراف درجة حرارة سطح البحر في ١ يناير ٢٠٢١ عن خط الأساس ١٩٧١-٢٠٠٠م بالإستناد على

[12] لمشاهدة عمليات المحاكاة البصرية كاملة، أنظر:
https://drive.google.com/drive/folders/1Fb5q78vm_GPI5CTrV-0qLIgiM2thEMkP?usp=sharing

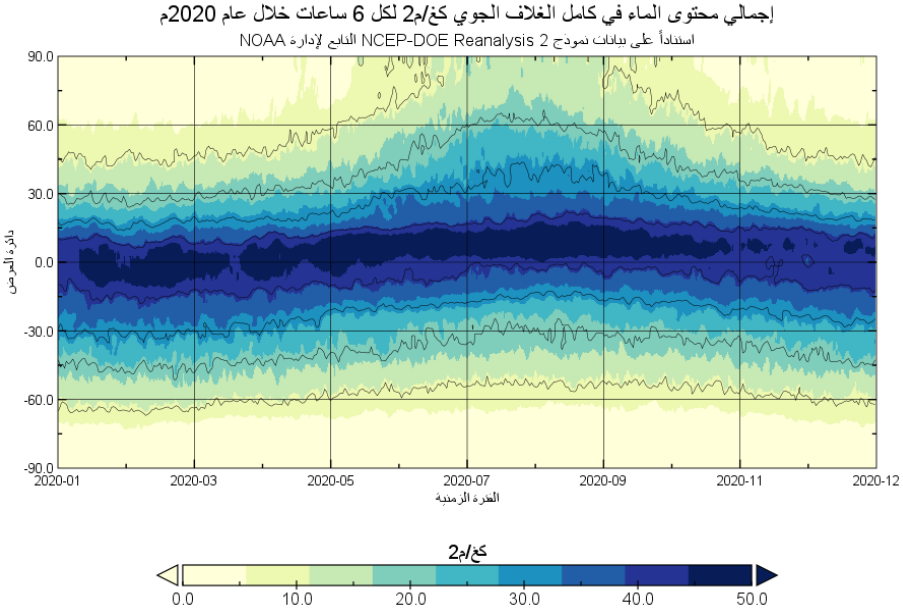
نموذج البيانات عالي الوضوح (NOAA OI SST). (ب) متوسط درجة حرارة اليابسة على ارتفاع ٢م في مارس ٢٠٢١. (ج) سرعة وإتجاه الرياح على ارتفاع ١٠م في ١ يونيو ٢٠٢١ الساعة ١٢م. (د) الضغط الجوي عند متوسط مستوى سطح البحر (MSLP) في ١ يونيو ٢٠٢١ الساعة ١٢م استناداً على بيانات مركز (ECMWF). المصدر: إعداد الباحث

٥,٢ مخططات هوفمولر

يوصف مخطط هوفمولر بأنه الصديق المفضل لعالِم المناخ (Liberto, n.d.)، حيث يقدم هذا المخطط الذي ابتكره العالِم الدنماركي (Ernest Hovmöller)[13] في عام ١٩٤٩ أداة تشخيص قادرة على تصوير الخصائص الدينمايكية لظواهر الغلاف الجوي مع مرور الوقت (Martius, et al., 2006, P. 221) وهي الميزة الرئيسية التي يتفوق فيها هذا التمثيل على الخرائط التي تتوقف عند عرض متغير معين لفترة معينة، وهو ماساهم في تسارع استخدام مخططات هوفمولر اليوم في أبحاث المناخ بشكل أكثر من أي وقت مضى (Persson, 2017, P. 949).

في بانوبلي يمكن إنشاء مخطط هوفمولر عن طريق (Color Contour plot) باستخدام المتغير الزمني كمحور عمودي X ودوائر العرض كمحور أفقي Y أو باستخدام متغيرات أخرى تبعاً لأهداف المستخدم. يمثل (شكل رقم ٦) إجمالي محتوى الماء في كامل الغلاف الجوي (Total Precipitable Water) خلال عام ٢٠٢٠ حيث يلاحظ تزايد محتوى الماء في يناير في النصف الجنوبي من الأرض وتناقصه في النصف الشمالي وعلى العكس في منتصف السنة وذلك نتيجة لتباين الإشعاع الشمسي الواصل لسطح الكرة الأرضية بين نصفيها الشمالي والجنوبي خلال العام.

[13] الورقة الأصلية لهوفمولر، أنظر: Hovmöller, E. (1949). The Trough-and-Ridge diagram. Tellus, 1: 62–66



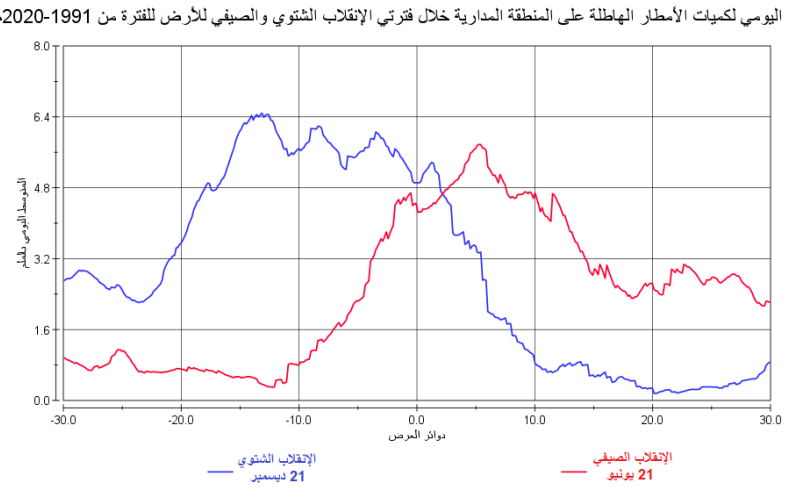
شكل رقم٦: إجمالي محتوى الماء في الغلاف الجوي (TPW) في عام ٢٠٢٠م، إستناداً على بيانات مركز (NCEP). المصدر: إعداد الباحث

٥,٣ المخططات العرضية

تعد المخططات العرضية (Zonally Averages) وسيلة رائعة لكشف التغيرات التي تطرأ على البيانات أثناء تفاعلها مع المكان خلال فترة زمنية محددة، وتكون وسيلة مثالية لكشف التغيرات إذا ما تمت محاكاتها بصرياً مع مرور الوقت في شكل مخططات متحركة (Animation Charts). وفي إطار الدراسات المناخية، تعتمد آلية تصميم هذه المخططات على بناء متوسطات لقيم الظاهرة على مستوى عرضي (Zonally) يتمثل عادة بدوائر العرض (Latitudes) والتي تُعرض على عكس المعتاد في المحور العمودي بينما يمثل المحور الأفقي قيم الظاهرة المتغيرة والتي يستفاد منها في عرض التغيرات الموسمية وكشف الأنماط بين نصفي الأرض الشمالي والجنوبي.

يمثل (شكل رقم ٧) مخططاً عرضياً للمتوسط اليومي لكميات الأمطار الهاطلة على المنطقة المدارية خلال فترتي الإنقلاب الشتوي والصيفي للأرض من عام ١٩٩١-٢٠٢٠م وذلك بالإستناد على بيانات ٦٥,٧٠٠ محطة أرضية من المركز العالمي للسواقط المناخية (GPCC) التابع لإدارة (NOAA) بدقة وضوح مكانية قدرها ٠,٥ درجات، حيث يمكن ملاحظة تأثير تعامد أشعة الشمس على إتساع رقعة المطر بين

فترتي الإنقلاب الشتوي في ٢١ ديسمبر والصيفي في ٢١ يونيو وذلك نتيجة لتغير إمتداد مايعرف بمنطقة التقارب المداري (ITCZ).



شكل رقم ٧: المتوسط اليومي لكميات الأمطار الهاطلة على المنطقة المدارية خلال فترتي الإنقلاب من ١٩٩١-٢٠٢٠م بالإستناد على بيانات المحطات الأرضية من مركز (GPCC) بدقة ٠,٥ درجات[14]. المصدر: إعداد الباحث

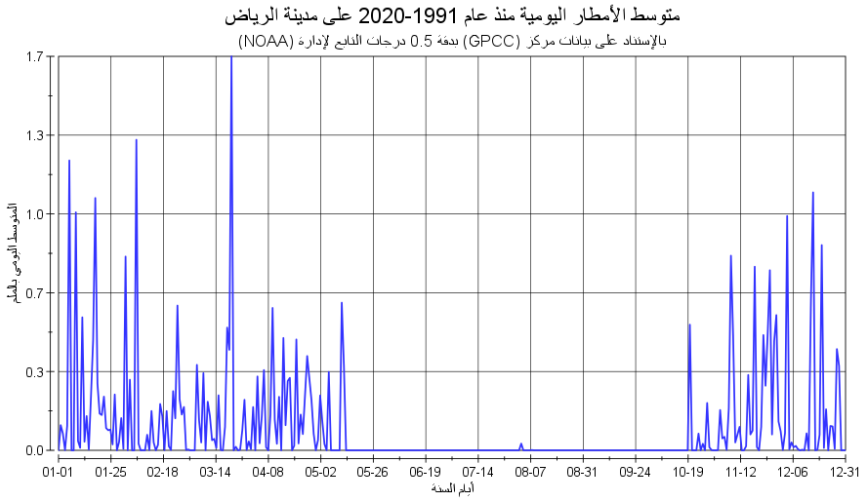
٥,٤ النماذج البيانية

بطبيعة الحال فإن النماذج البيانية تعد واحدة من أكثر الطرق شيوعاً لتمثيل وتصوير البيانات في مختلف التخصصات، وفي بانوبلي يستطيع المستخدم بكل سهولة بناء النماذج البيانية بغرض تصوير التغيرات التي تطرأ على البيانات مع مرور الوقت وذلك من خلال الأمر (Line Plot) في واجهة العرض الرئيسية للبرنامج، ولكن تجدر الإشارة هنا إلى أن البرمجة الإفتراضية للبرنامج تقوم مباشرة بعرض معدلات القيم (Average) داخل حزمة البيانات على كامل المنطقة، ولإختيار منطقة دراسة معينة يلزم تحديد الموقع الفلكي (الإحداثي) لهذه المنطقة بدقة من خلال خطوط الطول ودوائر العرض.

يمثل (شكل رقم ٨) متوسط الأمطار اليومية منذ عام ١٩٩١-٢٠٢٠ على مدينة الرياض (وفق الإحداثية ٢٤,٧٥ شمالاً x ٤٦,٧٥ شرقاً) وذلك بالإستناد على بيانات

[14] لمشاهدة عملية المحاكاة البصرية كاملة، أنظر:
https://drive.google.com/file/d/19eyAXe6FjHZCyvCJpL60LFe66lraJePQ/view?usp=sharing

المحطات الأرضية من مركز (GPCC)، حيث يمكن بوضوح ملاحظة أن موسم الجفاف يبدأ من منتصف مايو وحتى نهاية شهر أكتوبر من كل عام تقريباً، بعدها يبدأ متوسط الأمطار اليومية في التصاعد في فصلي الخريف والشتاء ثم تسود فترة من الإستقرار في شهر فبراير لتعاود الأمطار نشاطها من منتصف مارس تقريباً وحتى منتصف مايو من كل عام.



شكل رقم ٨: متوسط الأمطار اليومية منذ عام ١٩٩١-٢٠٢٠ على مدينة الرياض بالإستناد على بيانات مركز (GPCC)[15] التابع لإدارة (NOAA). المصدر: إعداد الباحث

٦. الخصائص الكارتوغرافية وتصدير النتائج

كما تمت الإشارة فإن بانوبلي يعتبر بالدرجة الأولى منصة متخصصة في محاكاة وتصوير البيانات ذات البعد المكاني، ولكن عند تمثيل البيانات في شكل خرائط فإن البرامج في هذه الحالة يوفر عدداً من الخيارات الأساسية المتعلقة بتعديل وإضافة وحذف بعض من الخصائص الكارتوغرافية ثم تصديرها بامتدادات مختلفة تبعاً لأهداف المستخدم، وعلى سبيل المثال لا الحصر يوفر البرنامج:

أ. الإشتقاق المكاني (Interpolation): يمكن بسهولة إجراء هذه العملية التي من شأنها تنعيم شكل البيانات بدلاً من عرضها في شكل خلايا شبكية بغرض زيادة مستوى الوضوح.

[15] للوصول المباشر إلى مصدر البيانات، أنظر:
https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.gpcc.html#detail

ب. المسميات والعناوين (Labels): عن طريق قائمة العناوين يمكن بسهولة إضافة عنوان رئيسي وآخر فرعي للخريطة، كما يمكن إضافة نصوص أخرى تمثل مصدر البيانات ومعد الخريطة.

ج. المساقط والإحداثيات: يوفر البرنامج فرصة إختيار المسقط المناسب لتمثيل الخرائط من بين ٢١٥ مسقطاً مختلفاً، كما يمكن تعديل خصائص الإحداثيات وطريقة عرض القيم والفواصل الإحداثية.

د. التطابق والضلال: يوفر البرنامج فرصة إضافة ٣ طبقات مختلفة تمثل اليابسة وحدود الدول والسواحل والأنهار وغيرها، كما يمكن في حال توفر بيانات ساعية إضافة خاصية الظلال (Shading) التي من شأنها عرض مناطق الليل والنهار تبعاً للوضوح الزماني للبيانات المدخلة في البرنامج.

هـ. الترميز اللوني ومفتاح الخريطة:يمكن اختيار ترميز لوني مناسب من بين أكثر من ١٥٢ لون، كما يمكن تعديل مفتاح الخريطة بتغيير القيم الدنيا والقصوى مع إمكانية تغيير وحدة قياس البيانات.

و. ترميز الرياح وخطوط التساوي: تفرض طبيعة بيانات الرياح أن يتم عرض متغيرين معاً وهي السرعة والإتجاه، ولهذا يمكن ترميز الرياح من خلال البيانات الخطية (Vector) لعرض متغير الإتجاه على شكل أسهم، كما يمكن إضافة خطوط التساوي (Contour) لإضافة مزيد من المعلومات على الخريطة.

بعد إختيار الطريقة المناسبة لتصوير البيانات وتعديل الخصائص الكارتوغرافية، يمكن تصدير المخرجات على شكل ملفات بإمتداد (MP4) لملفات الفيديو، بينما يمكن تصدير الصور بصيغ مختلفة منها (TIFF) و (PNG) وغيرها مع إمكانية رفع مستوى الوضوح، إضافة إلى إمكانية تصدير المخرجات بصيغة (PDF)، بالإضافة إلى ذلك يمكن تصدير البيانات في مخرجات مكانية مختلفة مثل الملفات بصيغة (KMZ) أو في شكل ملفات نصية مثل (CSV) والتي يمكن إستيرادها لاحقا داخل بيئة برنامج الإكسل (Excel).

٧. مناقشة النتائج

- برنامج بانوبلي يعد أداة قوية لمحاكاة وتصوير البيانات متعددة الأبعاد بدون الحاجة لوجود خبرات برمجية أو تقنية متقدمة، كما أن استخدامه ليس محصوراً فقط على تطبيقات المناخ والغلاف الجوي بل يمتد إلى تطبيقات الرصد والمراقبة Observation في الإستشعار عن بعد.
- لايعد بانوبلي أداة قوية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، خصوصا في التطبيقات المرتبطة بمعالجة وتهيئة البيانات، حيث أنه مصمم لمحاكاة وتصوير البيانات متعددة الأبعاد بالدرجة الأولى.

- توفر قابلية البرنامج في التعامل مع البيانات متعددة الأبعاد بمختلف إمتداداتها الفرصة للعمل تقريباً على جميع مخرجات نماذج المناخ والغلاف الجوي العالمية.
- تتيح خيارات المحاكاة البصرية وتصوير ظواهر المناخ والغلاف الجوي من خلال الخرائط المتحركة والمخططات العرضية ومخططات هوفمولر وغيرها من منتجات البرنامج مخرجات مثالية يمكن من خلالها تقديم مزيد من الفهم لطبيعة توزيع وإنتشار هذه الظواهر المعقدة بصورة أسهل وأسرع من أي برنامج آخر.
- تعد الخيارات المتعلقة بدمج أكثر من متغير من متغيرات الغلاف الجوي ولفترات زمنية مختلفة واحدة من نقاط القوة الرئيسية في برنامج بانوبلي، والتي يمكن من خلالها إجراء عمليات رياضية وإحصائية أساسية مثل استخراج قيم الإنحراف والشذوذ والمتوسطات وغيرها.
- يتيح البرنامج بسهولة أثناء عملية الإخراج إضافة وتعديل عدد كبير من الخصائص الكارتوغرافية، إضافة إلى ذلك يمكن تصدير المخرجات في شكل ملفات اكسل لإجراء مزيد من العمليات الرياضية والإحصائية على البيانات.

٨. التوصيات

في ضوء ما توصلت إليه الدراسة في عمليات المحاكاة والتصوير الرقمي التي تم إجراؤها على البرنامج، توصي الدراسة بالآتي:

- ضرورة تفعيل الممارسات البحثية المرتبطة بالمحاكاة والتصوير الرقمي لما لها من أثر كبير في عملية صناعة القرار في أبحاث الجغرافيا والمناخ في العالم العربي.
- العمل على إدراج تطبيقات المحاكاة والتصور في المقررات الدراسية المرتبطة بالمناخ والغلاف الجوي في الجامعات العربية واستغلال البرامج المجانية مثل بانوبلي لتدريس هذه المقررات.
- يوصى عند الضرورة باستخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية لإجراء عمليات التهيئة والمعالجة على البيانات وذلك قبل الشروع في عمليات المحاكاة والتصوير الرقمي في برنامج بانوبلي.
- من الضروري قراءة وفهم البيانات المصاحبة لحزم البيانات المستخرجة من نماذج المناخ والغلاف الجوي لما لها من أثر كبير في صحة عملية المحاكاة وبالتالي سلامة النتائج.

9. الخاتمة

يعتبر برنامج بانوبلي أحد منتجات معهد (GISS) التابع لإدارة (NASA) منصة مجانية متخصصة في قراءة ومحاكاة وتصوير البيانات متعددة الأبعاد بدون الحاجة لتوفر خلفية برمجية أو تقنية عالية، وهي وسيلة مناسبة للجغرافيين والمتخصصين في المناخ تحديداً لإجراء عمليات المحاكاة البصرية (Visual Simulation) والتصوير الرقمي (Visualization) لظواهر المناخ والغلاف الجوي، وذلك استناداً على مخرجات نماذج الطقس والمناخ العددية (Climate and Weather Numerical Models)، حيث يمكن للمستخدم محاكاة وتصوير نتائج عملياته البحثية بهدف تقديم مزيد من الفهم والإدراك لطبيعة وسلوك الظاهرة المدروسة، وهو الأمر الذي من الممكن أن يساهم في تقديم نتائج وتوصيات وسياسات منطقية تساعد في عملية صناعة القرار.

يوفر بانوبلي واجهة رسومية (GUI) سهلة الإستخدام تتيح فرصة محاكاة التغيرات التي تطرأ على البيانات من خلال عدة أشكال وصور، من بينها الخرائط المتحركة (Animation Maps) المرتبطة بعرض التغيرات على نطاق واسع، أو من خلال المخططات العرضية (Zonal Averages) المتعلقة بتصوير المتغيرات على مستوى عرضي، أو باستخدام مخططات هوفملور (Hovmöller diagrams)المتخصصة في محاكاة التغيرات التي تطرأ على الظواهر المناخية مع مرور الوقت. ولعل واحدة من أهم قدرات هذا البرنامج هو دمج عدة متغيرات ولفترات زمنية مختلفة مع بعضها بهدف كشف التغيرات التي قد تطرأ على النتائج، مع الفرصة لإجراء بعض من العمليات الرياضية والإحصائية الأساسية بهدف إستخراج المتوسطات والمعدلات وقيم الإنحراف التي قد تطرأ من هذه العمليات.

بالرغم من أن بانبولي لا يعد بيئة قوية لنظم المعلومات الجغرافية، إلا أنه يوفر القدر الكافي من الخيارات الجيومكانية المرتبطة بالدراسات المناخية، مثل إمكانية إشتقاق البيانات وإضافة خطوط التساوي والترميز الخطي لبيانات الرياح، مع مزايا كارتوغرافية أخرى مرتبطة بتوفير خيارات متعددة لعمليات الترميز اللوني وإسقاط البيانات وإضافة وتعديل العناصر الرئيسية للخرائط مثل العناوين والمقاييس وغيرها، وهي التي تساهم بدورها في توفير مخرجات صحيحة كارتوغرافياً سواء في أشكال خرائط أو نماذج ومخططات بيانية.

لعله من الصائب القول أن تركة المجتمع الجغرافي العربي حتى اليوم في دراسات المناخ المرتبطة بالمحاكاة والتصوير الرقمي لاتزال ضعيفة جداً ولا ترقى إلى منافسة المجتمع العلمي الإقليمي عوضاً عن العالمي، وللوصول نحو مصافي المجتمعات العلمية المتقدمة فإننا بحاجة لأدوات ووسائل وطرق جديدة نستطيع من خلالها عرض

النتائج وتقديم التوصيات، ولعل بانوبلي وغيره من المنصات المجانية يوفر الطريق المختصر نحو هذا التوجه العلمي الحديث.

10. المراجع

Alpers, Werner. (2014). Ocean Internal Waves. *Encyclopedia of Remote Sensing*. *Springer*, https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-0-387-36699-9_118

Atmospheric Science Data Center. (n.d.). Hierarchical Data Format. https://asdc.larc.nasa.gov/documents/ceres/readme/hdf.pdf

Bureau of Meteorology. (n.d.) What are El Niño and La Niña events?. http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/ln-2010-12/ENSO-what.shtml

Carn, Simon. (2019). Tutorial on Satellite Data Access, Visualization and Analysis. https://seismo.berkeley.edu/wiki_cider/images/6/68/Carn_cider_2019_tutorial.pdf

Data One. (n.d.). Panoply Data Viewer. https://old.dataone.org/software-tools/panoply-data- viewer

Fouilloux, Anne. (2021). Visualize Climate data with Panoply netCDF viewer. https://training.galaxyproject.org/training-material/topics/climate/tutorials/panoply/tutorial.html

Goddard Institute for Space Studies. (n.d.). Panoply History. https://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/version1.html

Hawkins, Ed. (2017). Zonal mean temperature change in observations & models. https://www.climate-lab-book.ac.uk/2017/zonal-mean-temperature-change/

Hovmöller, E. (1949). The Trough-and-Ridge diagram. Tellus *A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 1: 62–66. Retrieved Jun 29, 2021, from http://hannahlab.org/papers/Hovmoller_1949.pdf

Kuljis, Jasna., Paul, Ray J. (2001). Visualization and Simulation: Two Sides of the Same Coin? *SIMULATION*, vol 77, pp. 141-152, https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/003754970107700306

Levy, Steven. (2018). Graphical user interface. *Encyclopedia Britannica*. https://www.britannica.com/technology/graphical-user-interface. Accessed 29 June 2021.

Liberto, Tom. (n.d.). Hovmöller Diagram: A climate scientist's best friend. *NOAA,* https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/hovm%C3%B6ller- diagram-climate-scientist%E2%80%99s-best-friend

Martius, Olivia., Schwierz, Cornelia., Davies, Huw. (2006). A Refined Hovmöller Diagram. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*,https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.1600-0870.2006.00172.x

NASA. (2021). Panoply netCDF, HDF and GRIB Data Viewer. *Goddard Institute for Space Studies,* https://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/

NOAA. (2014). Climate Models. https://www.climate.gov/maps-data/primer/climate-models

NOAA. (n.d.). What is Rossby Wave? https://oceanservice.noaa.gov/facts/rossby-wave.html

Oxford Dictionary. (n.d.). Panoply. Retrieved June 28, 2021 fromhttps://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/panoply?q=panoply

Persson, A. (2017). The Story of the Hovmöller Diagram: An (Almost) Eyewitness Account, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(5), 949-957. Retrieved Jun 29, 2021, from https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/98/5/bams-d-15-00234.1.xml

Physical Sciences Laboratory. (n.d.). GPCC Global Precipitation Climatology Centre https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.gpcc.html#detail

Rhyne, Theresa-Marie. (2003). Does the difference between information and scientific visualization really matter?" *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 23, no. 3, pp. 6-8, https://ieeexplore.ieee.org/document/1198256

Sanga, Camilius., Sumari, Neema., Tumbo, Siza. (2013). On the development of climate data visualization tool for interpretation of empirical results from climate model: Does it add value to different stakeholders?. *The 6th UbuntuNet Alliance annual conference ISSN*

2223-7062,
https://www.researchgate.net/publication/258441922
Schmunk, Robert. (2009). Panoply v.1.5. *NASA Goddard Institute for Space Studies*, https://meteor.geol.iastate.edu/classes/mt452/EdGCM/Documentation/EdGCM_Panoply. pdf
Singh, Niraj. (1970). Mechanism of Indian Monsoon. *Magadh University*, https://www.magadhuniversity.ac.in/download/econtent/pdf/Mechanism%20of%20India n%20Monsoon.pdf
The Weather Window. (n.d.). Understanding, Getting and Using GRIB Weather Files. https://weather.mailasail.com/Franks-Weather/Grib-Files-Getting-And-Using
Unidata. (n.d.). What is NetCDF?. https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/docs/
Visual Components. (2017). How data visualization helps us "see" better?. https://www.visualcomponents.com/resources/articles/how-data-visualization-helps-us- see-better/
Wang, Chaoli., Yu, Hongfeng., Ma, Kwan-Liu. (2008). Importance-Driven Time-Varying Data Visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 14, no. 6, pp. 1547-1554, https://ieeexplore.ieee.org/document/4658174/authors#authors
Wang, Y.Q. (2014). MeteoInfo: GIS software for meteorological data visualization and analysis. *Royal Meteorological Society*, vol 21, pp. 360-368, https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/met.1345
Wang, Y.Q. (2019). An Open-Source Software Suite for Multi-Dimensional Meteorological Data Computation and Visualization. *Journal of Open Research Software*, vol 7, p.21, http://doi.org/10.5334/jors.267