

الصفحة الرئيسية: <https://mskas.journals.ekb.eg>

المجلة المصرية للسكان وتنظيم الأسرة

Print ISSN 1110-1156 – Online ISSN 2786-0078



تقدير احتمالي كامل للمقاييس السكانية التلخيصية في مصر خلال الفترة (1986-2021)

هانم مصطفى* 

الاستلام: 25 مايو 2025، المراجعة: 24 يونيو 2025، القبول: 26 يونيو 2025، متاح الكترونياً 27 يونيو 2025

الكلمات الدالة	المستخلص
معدل الانجاب الكلي، توقع الحياة، النوع، عدم اليقين، النموذج البيزي، سلاسل ماركوف	<p>هدفت الدراسة إلى تقدير العديد من المقاييس السكانية التلخيصية في مصر بشكل احتمالي كامل باستخدام النموذج البيزي الهرمي، مع قياس عدم اليقين المرتبط بالبيانات بشكل كمي، وذلك لفهم التحولات الديموغرافية في المجتمع ومدى التوازن الديموغرافي فيه. شملت المقاييس المقدرة: معدل الإنجاب الكلي، توقع الحياة عند الميلاد، نسبة النوع عند الميلاد، نسبة النوع في معدل وفيات الأطفال دون سن الخامسة، ونسبة النوع في إجمالي السكان، ونسبة الإعالة. اعتمد النموذج على بيانات التعدادات والمسوح السكانية، مع تضمين عدم اليقين في جميع المعلمات، وباستخدام أسلوب سلاسل ماركوف مونت كارلو تم الحصول على التوزيعات البعدية للمعلمات. وكانت من أبرز نتائج الدراسة: انخفاض معدل الإنجاب الكلي مع تقلص عدم اليقين بمرور الوقت، وزيادة معدلات توقع الحياة للإناث والذكور، مع تفوق الإناث في العمر المتوقع دون وجود دليل إحصائي قوي على اتساع الفجوة بين النوعين، ثبات نسبة النوع عند الميلاد حول (1.05)، مما يشير إلى غياب اختلالات واضحة، وأيضاً عدم وجود تمييز في وفيات الأطفال دون الخامسة بين الذكور والإناث، مع ارتفاع طفيف في نسبة الذكور في إجمالي السكان لكن مع درجة عالية من عدم اليقين. كما سجلت نسبة الإعالة في مصر تحسناً حتى عام 2006، ثم ارتفعت مجدداً، مع تميز تقديرات النموذج البيزي بقدرتها على التقاط هذه التحولات بدقة كبيرة. وخلصت الدراسة إلى وجود تحسن في المؤشرات السكانية بمصر خلال هذه الفترة، مع التأكيد على أهمية تحسين جودة البيانات لتقليل عدم اليقين ومراقبة مؤشرات النوع بشكل مستمر لضمان عدالة السياسات الصحية والاجتماعية.</p>

الباحث المسؤول*: hanem_mabrouk@yahoo.com

*كلية التجارة بجامعة مدينة السادات، المنوفية، مصر

المحتوى المنشور من قبل المجلة المصرية للسكان وتنظيم الأسرة مرخص بموجب رخصة المشاع الإبداعي 4.0 الدولية (CC BY 4.0).



Probabilistic Estimation of Summary Demographic Measures in Egypt (1986–2021)

Keywords	Abstract
<p><i>Total Fertility Rate; Life Expectancy; Sex Ratio; Uncertainty; Bayesian model; Markov Chain Monte Carlo.</i></p>	<p>The study aimed to estimate several summary demographic measures in Egypt in a fully probabilistic manner using the hierarchical Bayesian model, with a quantitative measurement of the uncertainty associated with the data. This was done to understand demographic transitions in society and the extent of demographic balance. The estimated measures included: total fertility rate, life expectancy at birth, sex ratio at birth, sex ratio in under-five mortality, sex ratio in the total population, and dependency ratio. The model relied on census and survey data, incorporating uncertainty in all parameters. Using Markov Chain Monte Carlo (MCMC) methods, the posterior distributions of the parameters were obtained. Among the key findings of the study were: a decline in the total fertility rate with a reduction in uncertainty over time, an increase in life expectancy for both females and males, with females having a higher life expectancy, though without strong statistical evidence of a widening gender gap; stability in the sex ratio at birth around 1.05, indicating no clear imbalances, and no evidence of gender discrimination in under-five mortality, with a slight increase in the male-to-female ratio in the total population, but with a high degree of uncertainty. Egypt's dependency ratio showed a marked improvement until 2006, followed by a gradual increase; the Bayesian model estimates demonstrated superior accuracy in capturing these demographic dynamics. The study concluded that Egypt's demographic indicators have improved during this period, emphasizing the importance of enhancing data quality to reduce uncertainty and the need for continuous monitoring of gender indicators to ensure equitable health and social policies.</p>

1. مقدمة

تعد المعلومات الإحصائية المتعلقة بالخصائص السكانية أساساً لتحليل التحولات المجتمعية ورسم السياسات العامة. ومع ذلك فإن ما يعتري أنظمة رصد الخصائص السكانية من تفاوت في التغطية والدقة إلى جانب الفجوات الزمنية بين موجات الرصد، يحد من كفاءة الطرق التقليدية في تقديم تقديرات لعدم اليقين. ومن هنا تبرز الحاجة إلى نماذج تحليلية مرنة تستوعب التباين في جودة البيانات وتتيح دمج مصادر متعددة ضمن إطار تقديري واحد يأخذ في الاعتبار درجة عدم اليقين بشكل كمي، بما يضمن إنتاج مؤشرات أكثر اتساقاً مع الواقع السكاني المتغير. في هذا السياق، قام (مصطفى، 2024) بتطبيق نموذجاً بيزياً هرمياً مقترحاً من قبل Wheldon et al (2015) لتقدير أعداد السكان التفصيلية والإجمالية في مصر خلال الفترة (1986–2021) بشكل احتمالي كامل يأخذ عدم اليقين الراجع لأخطاء القياس في الاعتبار أنياً في جميع مدخلات النموذج.

وإيماناً بأهمية دراسة عدم اليقين في البيانات السكانية وبأن دراستها في أعداد السكان والمؤشرات التفصيلية دون النظر إلى المؤشرات السكانية التلخيصية لا يكفي لفهم التحولات الديموغرافية ومدى التوازن الديموغرافي في المجتمع، فقد قام البحث بتطبيق النموذج البيزي الهرمي لتقدير عددا من المؤشرات السكانية التلخيصية في مصر خلال الفترة (1986-2021)، وتشمل هذه المؤشرات: معدل الإنجاب الكلي TFR، وتوقع الحياة عند الميلاد للذكور وللإناث $LEB(e_0)$ ، بالإضافة إلى مؤشرات النوع المختلفة وهي: نسبة النوع عند الميلاد SRB، ونسبة النوع في معدل وفيات الأطفال دون سن الخامسة SRU5MR، ونسبة النوع في إجمالي السكان SRTD، وكذلك نسبة الإعالة Dependency Ratio.

وترجع أهمية هذه الدراسة إلى أهمية تقدير المؤشرات السكانية السابق ذكرها وانعكاس ذلك على السياسات العامة، سواء فيما يخص التخطيط للخدمات الصحية والتعليمية أو وضع استراتيجيات تتماشى مع احتياجات السكان المتغيرة وكذلك تعزيز العدالة الاجتماعية في مصر. فإن معدل الإنجاب الكلي يتبع الاتجاهات السكانية وتحليلها بشكل بسيط وقابل للمقارنة، وتوقع الحياة عند الميلاد مؤشر صحي هام يستخدم في مقارنة المستوى الصحي بين الدول وكذلك مقارنة المستوى الصحي للدولة الواحدة عبر الزمن ويستخدمه الإكتواريون أيضا في حساب أقساط التأمين على الحياة. فكلاهما من المؤشرات السكانية الأساسية التي تعكس الحالة الصحية والاجتماعية والاقتصادية لأي مجتمع، فإنخفاض معدل الإنجاب الكلي مؤشرا للتحسن في وعي الأسرة، والتعليم، وتمكين المرأة وارتفاع توقع الحياة عند الميلاد يعكس تحسنا نسبيا في الرعاية الصحية العامة وانخفاض معدلات وفيات الأطفال، وبالتالي تعد هذه المؤشرات ضرورية لمتابعة التقدم نحو أهداف التنمية المستدامة، لا سيما الهدف الثالث المتعلق بالصحة الجيدة والرفاهية. كما يعد تقدير نسبة الإعالة من المقاييس الأساسية في التحليل السكاني، إذ يعكس مستوى العبء الاقتصادي الواقع على الفئة النشطة اقتصاديا نتيجة إعالة الأطفال وكبار السن. ويستخدم هذا المؤشر في تقييم الاحتياجات التنموية المستقبلية وتوجيه السياسات الاقتصادية والاجتماعية.

كما أن لدراسة مؤشرات النوع أهمية بالغة في اكتشاف وجود اختلالات في التوازن بين الذكور والإناث من عدمه، والتي يمكن أن يؤدي وجودها إلى مشاكل اجتماعية واقتصادية وبالتالي تعد هذه المؤشرات ضرورية أيضا لمتابعة التقدم نحو أهداف التنمية المستدامة، لا سيما الهدف الخامس المتعلق بالمساواة حسب النوع (European Institute for Gender Equality, 2019). ويرجع الاهتمام بدراسة نسب النوع بالتفصيل في هذه الدراسة لإنخفاض معدل الإنجاب الكلي في مصر حيث انخفض من 3.5 طفل لكل سيدة وفقا لنتائج المسح السكاني الصحي 2014 (وزارة الصحة والسكان وآخرون، 2015) إلى 2.85 طفل لكل سيدة وفقا لنتائج المسح الصحي للأسرة المصرية 2021 (الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، 2022) مما يعني إنخفاض عدد

المواليد مما قد يزيد احتمال تدخل بعض الأسر لتفضيل إنجاب الذكور عن الإناث مما قد يؤثر على نسبة النوع عند الميلاد (Yount, 2000)، كما أنه مع انخفاض مستوى الإنجاب وزيادة متوسط العمر، يزداد عدد الإناث في السكان لأن الإناث يعيشن أطول من الرجال مما يؤثر على نسبة النوع في إجمالي السكان والتي ترتبط بظواهر اجتماعية مثل الهجرة غير المتوازنة. أيضا انخفاض الإنجاب قد يكون مرتبطا بزيادة استخدام وسائل تنظيم الأسرة وتحسين تعليم السيدات مما يقلل عدد الأطفال في الأسرة، وبالتالي تتحسن جودة الرعاية بغض النظر عن النوع، مما قد يقلل من الفجوة النوعية في وفيات الأطفال دون الخامسة (Hussein et al, 2021).

وتجدر الإشارة إلى أنه في الدراسات السكانية غالبا ما يقصد بكلمة "تقدير" هو قيمة المؤشرات السكانية في الحاضر أو الماضي القريب، وتأكيداً على أن المقصود في هذه الدراسة الإشارة إلى قيمة المؤشرات السكانية في الماضي تم استخدام في كثير من الأحيان كلمة "إعادة بناء" بدلا من كلمة "تقدير". كما تجدر الإشارة إلى أن الهدف من إعادة البناء هنا ليس لعدم توفر البيانات في تلك الفترة الزمنية، ولكن بهدف قياس عدم اليقين الراجع لأخطاء القياس في تلك البيانات مما يعتبر مؤشرا لمدى جودة مصادر البيانات السكانية في تلك الفترة. وتنقسم الدراسة إلى خمسة أقسام: القسم الأول لعرض المقدمة، القسم الثاني لعرض الدراسات السابقة، القسم الثالث لعرض منهجية الدراسة، القسم الرابع لعرض نتائج الدراسة، والقسم الخامس لعرض خاتمة تلخص محتوى الدراسة.

2. الدراسات السابقة

هناك دراسات عديدة قامت بإعادة بناء (تقدير) أعداد السكان باستخدام الأساليب الرياضية غير الاحتمالية مثل: أسلوب الإسقاط العكسي حيث اقترح (Lee 1971, 1974) نهجا لإعادة بناء السكان يعتمد على استخدام الأعداد الإجمالية للمواليد والوفيات السنوية إلى جانب عدد السكان في سنة الأساس، بهدف استنتاج المؤشرات الحيوية والتوزيع العمري للسكان. وقد اعتمد (Brunborg, 1976) هذا الأسلوب عند دراسته لسكان النرويج خلال الفترة من 1735 إلى 1974، كما تبناه (McCaa and Barbi, 2004) لاحقا وركز الباحثان على مدى فعالية هذا النهج في فترات زمنية تفتقر إلى بيانات تفصيلية. وأسلوب الإسقاط الخلفي حيث يتم استخدام أعداد السكان المسجلة في نهاية فترة الدراسة كنقطة انطلاق لاسترجاع التغيرات السكانية التي حدثت في الفترات السابقة، بهدف تقدير حجم وتركيب السكان في بداية الفترة. وقد طُبق هذا الأسلوب (Wrigley and Schofield, 1981) لإعادة بناء السكان في إنجلترا خلال الفترة الممتدة من 1541 إلى 1871. وأسلوب الإسقاط العكسي المعمم حيث اقترح (Oeppen, 1993) منهجا يقوم على استخدام خوارزمية معيارية غير خطية تهدف إلى تحقيق أعلى درجة من التوافق بين البيانات الفعلية والافتراضات النظرية للنموذج. وتتميز هذه المنهجية بقدرتها على تقدير صافي الهجرة ضمن عملية إعادة البناء السكاني، وقد تم توظيف هذا المنهج في عدد من

الدراسات التطبيقية، منها دراسة سكان إنجلترا للفترة من 1539 إلى 1873 (Wrigley et al, 1997) ، وسكان الدنمارك بين 1665 و1840 (Johansen and Oeppen, 2001) ، وكذلك سكان أمستردام خلال الفترة من 1681 إلى 1920 (Leeuwenn and Oeppen, 1993) .

وهناك دراسات استخدمت أسلوب الإسقاط العكسي العشوائي كبدائية لأخذ عدم اليقين في الاعتبار، فقد قدم (Bertino and Sonnino, 2004) منهجا يعيد تصور عمليتي الميلاد والوفاة باعتبارهما عمليتين عشوائيتين تخضعان لنموذج بواسون غير المتجانس. ويعتمد هذا الأسلوب على استخدام الأعداد الإجمالية للمواليد والوفيات دون الحاجة إلى بيانات تفصيلية، ولكنه يفترض أن البيانات السنوية الإجمالية للمواليد والوفيات دقيقة وخالية من الأخطاء.

كما اعتمد عدد من الباحثين على الأسلوب البيزي في إعادة بناء السكان وتقدير المؤشرات السكانية، مع تنوع في نطاق التطبيقات والمنهجيات المستخدمة. ففي دراسة (Daponte et al, 1997)، تم تطبيق نموذج بيزي على بيانات العراق وكردستان للفترة 1977-1990، إلا أن النموذج اقتصر في معالجته لعدم اليقين على معدلات الوفيات فقط، وتحديدًا وفيات الرضع، كما أنه لم يأخذ الهجرة بعين الاعتبار. كما اقترح (Raymer et al., 2013) نموذجا بيزيا لتقدير الهجرة الدولية السنوية بالإضافة إلى بعض المؤشرات الحيوية بين 31 دولة أوروبية خلال الفترة من 2002 إلى 2008، لكن دون تقديم تقديرات مصنفة حسب الفئة العمرية أو النوع. أما (Bryant and Graham, 2013)، فقد طورا نموذجا بيزيا لتقدير عدد السكان على المستويات دون القومية، مع دمج بيانات من مصادر متعددة، وجرى تطبيقه على ست مناطق في نيوزيلندا خلال الفترة 1996-2011. ثم قدم (Alexander and Alkema, 2018) نموذجا بيزيا لتقدير عدد النساء في سن الإنجاب على المستوى دون القومي، وجرى تطبيقه على 35 مقاطعة في كينيا بين عامي 1979 و2020. ومن النماذج المتقدمة في هذا المجال، النموذج البيزي الهرمي الذي قدمه (Wheldon et al, 2013a) لإعادة بناء السكان الإناث بطريقة احتمالية تأخذ جميع مصادر عدم اليقين في الاعتبار بشكل متزامن، وجرى تطبيق هذا النموذج على بيانات بوركينافاسو للفترة 1960-2005. ثم تم تطوير النموذج لاحقا في دراسة (Wheldon et al, 2015) ليشمل الجنسين كل على حدة، مع تقدير شامل لمؤشرات سكانية مختارة، وتم تطبيقه على كل من الهند (1971-2001)، وتايلاند (1960-2000)، ولاوس (2005-1985). ويستمر الاهتمام بهذا الاتجاه، حيث استخدم (Voutilainen et al, 2020) نموذج سلاسل زمنية بيزي هرمي لإعادة بناء السكان في فنلندا للفترة 1647-1850، واستخدم (مصطفى، 2024) النموذج البيزي الهرمي المطور من قبل (Wheldon et al, 2015) في إعادة بناء سكاني شامل لجمهورية مصر العربية في الفترة 1986-2021 حسب النوع والعمر وتقدير للمعدلات التفصيلية.

وهناك دراسات أخرى كان الهدف منها إعادة بناء المعدلات الحيوية ونسبة النوع، فقد قام (Schoumaker, 2006) بإعادة بناء معدل الإنجاب الكلي والمعدلات التفصيلية باستخدام أسلوب الانحدار البواسوني. ومنهم من قام بإعادة بناء مستوى ونمط الإنجاب مثل (Spoorenberg, 2015) حيث قام بإعادة بناء مستوى ونمط الإنجاب في منغولية من بداية القرن العشرين وحتى الستينات باستخدام بعض أساليب تقدير الإنجاب مثل طريقة البقاء العكسي. وقام (Sawyer, 2012) بتطوير طرق لإعادة بناء نسب النوع في وفيات الأطفال دون الخامسة لتحديد البلدان التي الفروق فيها بين النوعين تستحق الفحص لضمان تكافؤ فرص النوعين في الوصول للرعاية الصحية، ولكنه لم يأخذ في الاعتبار عدم اليقين. وقد استخدم (Durowaa- Boateng et al, 2023) النموذج البيزي في إعادة بناء معدلات الإنجاب حسب العمر ومستوى التعليم في مجموعة من الدول الإفريقية وأمريكا اللاتينية بين عامي 1970 و2020. كما قدم (Chao et al, 2021) نموذج سلاسل زمنية بيزي هرمي لتقدير ومتابعة تطور نسبة النوع عند الميلاد عالميًا في الفترة (1950-2100) ومن ثم تحديد الدول التي تواجه اختلالاً في التوازن بين الذكور والإناث عند الميلاد.

وتختلف هذه الدراسة عن الدراسات السابقة في أنها تستخدم نموذجاً بيزيا هرمياً يقوم بإعادة بناء جميع مكونات معادلة التوازن السكاني (المواليد-الوفيات-الهجرة-سكان سنة الأساس) بشكل احتمالي في آن واحد وليس مكوناً واحداً فقط كما في معظم الدراسات. وكذلك في كونها ستقوم بتقدير (إعادة بناء) العديد من المقاييس السكانية ومؤشرات النوع المختلفة في دراسة واحدة.

3. منهجية الدراسة

تنقسم منهجية الدراسة إلى ثلاثة أقسام: القسم الأول لتوصيف النموذج البيزي الهرمي المستخدم لإعادة بناء أعداد السكان والمعدلات الحيوية التفصيلية، القسم الثاني لتوضيح كيفية حساب المقاييس التلخيصية ومؤشرات النوع من أعداد السكان والمعدلات الحيوية التفصيلية الناتجة من النموذج البيزي، والقسم الثالث البيانات المستخدمة في الدراسة.

1.3 توصيف النموذج البيزي

يأخذ النموذج البيزي الهرمي المستخدم الشكل التالي:

$$\log n_{a,t,l}^* | n_{a,t,l}, \sigma_n^2 \sim \text{Normal}(\log n_{a,t,l}, \sigma_n^2), \quad t = t_L^{[cen]}, \dots, t_U^{[cen]} \quad (1) \quad \text{المستوى الأول}$$

$$t = t_0+5, \dots, T \quad n_{a,t,l} | n_{.,t-5,.,} \quad \Psi_{t-5} = M(n_{.,t-5,.,}, \Psi_{t-5}), \quad (2) \quad \text{المستوى الثاني}$$

$$\log SRB_t | SRB_t^*, \sigma_{SRB}^2 \sim \text{Normal}(\log SRB_t^*, \sigma_{SRB}^2) \quad (3) \quad \text{المستوى الثالث}$$

$$\log f_{a,t} | f_{a,t}^*, \sigma_f^2 \sim \begin{cases} \text{Normal}(\log f_{a,t}^*, \sigma_f^2), & a = a_L^{[fert]}, \dots, a_U^{[fert]} \\ \text{Undefined}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$\log n_{a,t0,l} | n_{a,t0,l}^*, \sigma_n^2 \sim \text{Normal}(\log n_{a,t0,l}^*, \sigma_n^2) \quad (5)$$

$$\text{logit } s_{a,t,l} | s_{a,t,l}^*, \sigma_s^2 \sim \text{Normal}(\text{logit } s_{a,t,l}^* | \sigma_s^2), \quad a = 0, 5, \dots, A+5 \quad (6)$$

$$g_{a,t,l} | g_{a,t,l}^*, \sigma_g^2 \sim \text{Normal}(g_{a,t,l}^* | \sigma_g^2) \quad (7)$$

$$\sigma_u^2 \sim \text{InvGamma}(\alpha_u, \beta_u), \quad u = n, f, s, g, SRB \quad (8) \quad \text{المستوى الرابع}$$

حيث:

- a و t : هم العمر والزمن والنوع على الترتيب حيث $a=0,5,10,\dots,A$ و $t=t_0,t_0+5,\dots,T$ و $l=F,M$
- $a_L^{[fert]}$ و $a_U^{[fert]}$: هما الحد الأدنى والحد الأقصى لعمر الإنجاب غير الصفري على الترتيب.
- $t_L^{[cen]}, \dots, t_U^{[cen]}$: النقاط الزمنية التي فيها التعدادات السكانية متاحة.
- $f_{a,t}$: معدل الانجاب التفصيلي للفئة العمرية $[a, a+5]$ في الفترة الزمنية $[t, t+5]$.
- $s_{a,t,l}$: نسبة الأفراد في فئة العمر $[a-5, a]$ عند الزمن t الذين استمروا على قيد الحياة وانتقلوا لفئة العمر $[a, a+5]$ عند الزمن $t+5$.
- $n_{a,t,l}$: عدد السكان في فئة العمر $[a, a+5]$ عند الزمن t .
- $g_{a,t,l}$: صافي الهجرة في فئة العمر $[a, a+5]$ خلال الفترة $[t, t+5]$.

ويتم استخدام الرمز Ψ_t للإشارة إلى متجه المعلمات f, s, g, SRB والتي يفترض النموذج استقلالها عن بعضها، كما يشار لطريقة مكونات الأفواج في المستوى الثاني للنموذج بالرمز $M(\cdot)$. ويقصد بالرمز (*) فوق المعلمة) تقدير المعلمة اعتمادا على البيانات وبدون (*) يقصد بها القيمة الحقيقية المجهولة للمعلمة. (Wheldon et al, 2015)

ويتكون النموذج من أربعة مستويات: يصف المستوى الأول (المعادلة 1) دالة الإمكان لأعداد السكان المأخوذة من التعدادات السكانية $n_{a,t,l}^*$. أما المستوى الثاني (المعادلة 2)، فيعبر عن تقدير أعداد السكان بأسلوب

مكونات الأفواج $n_{a,t}$. ويمثل المستوى الثالث (المعادلات 3-7) التوزيعات القبلية للمعلمات البيزية، والتي يفترض أنها تتبع التوزيع الطبيعي بمتوسطات محسوبة من بيانات التعدادات والمسوح، وتباينات تستمد من المستوى الرابع. أما المستوى الرابع (المعادلة 8)، فهو يعبر عن توزيع التباينات على هيئة توزيع جاما العكسي بمعلمات (α, β) تقدر اعتماداً على آراء الخبراء.

ويعمل النموذج بأسلوب هرمي يبدأ من المستوى الرابع، حيث يقوم بسحب عينة من التباينات التي تتبع توزيع جاما العكسي بمعلمات (α, β) ثم يقوم بالتعويض بها في المستوى الثالث ثم سحب عينة من التوزيعات الطبيعية القبلية للمعلمات ثم ادخال القيم الناتجة منها في المستوى الثاني للحصول على التوزيع القبلي لأعداد السكان n وأخيراً التعويض بهذه الأعداد كمتوسط التوزيع الطبيعي بالمستوى الأول والحصول على دالة الإمكان لأعداد السكان. وبتطبيق نظرية بيز، يقوم النموذج بسحب عينة كبيرة من التوزيع البعدي المشترك للمعلمات عن طريق ضرب دالة الإمكان للسكان (المستوى الأول) في التوزيع القبلي للسكان (المستوى الثاني)، وذلك باستخدام أسلوب سلاسل ماركوف مونت كارلو MCMC ثم الحصول بعد ذلك على التوزيعات البعدية الهامشية لكل معلمة على حده ثم تلخيص هذه التوزيعات باستخدام مقاييس إحصائية مثل الوسيط وحساب فترات مصداقية للتعبير عن عدم اليقين بالنسبة لهذه المعلمات.

2.3 كيفية حساب المقاييس التلخيصية ومؤشرات النوع

■ **معدل الإنجاب الكلي TFR:** تم حسابه من تقديرات معدلات الإنجاب التفصيلية $f_{a,t}$ الناتجة من النموذج البيزي لكل السنوات بطريقة (Preston et al. 2001) ولكن بدلالة رموز النموذج باستخدام المعادلة الآتية:

$$TFR_t = 5 \sum_{a_L^{[fert]}}^{a_U^{[fert]}} f_{a,t} \quad (9)$$

حيث:

$a_U^{[fert]}$ و $a_L^{[fert]}$: هما الحد الأدنى والحد الأقصى لعمر الإنجاب غير الصفري على الترتيب.

$f_{a,t}$: معدل الانجاب التفصيلي للفئة العمرية $[a, a+5]$ في الفترة الزمنية $[t, t+5]$.

■ **توقع الحياة عند الميلاد LEB:** تم حسابه من تقديرات نسب البقاء على قيد الحياة التفصيلية $s_{a,t}$ الناتجة من النموذج البيزي لكل السنوات بطريقة (Preston et al. 2001) ولكن بدلالة رموز النموذج باستخدام المعادلة الآتية:

$$e_{0,t,l} = 5 \sum_{a=0}^A \prod_{i=0}^a s_{i,t,l} + 5 \left[\prod_{i=0}^A s_{i,t,l} \right] \frac{s_{A+5,t,l}}{1 - s_{A+5,t,l}} \quad (10)$$

حيث:

$s_{i,t,l}$: هي نسبة الأفراد في فئة العمر $(i-5, i)$ في الزمن t الذين استمروا على قيد الحياة وانتقلوا لفئة العمر $[i, i+5)$ عند الزمن $t+5$.

$s_{A+5,t,l}$: هي نسبة الأفراد في فئة العمر $(A-5, A)$ في الزمن t الذين استمروا على قيد الحياة وانتقلوا لفئة العمر المفتوحة (A, ∞) عند الزمن $t+5$ ، حيث A هي أعلى فئة عمرية مغلقة.

ويستخدم المعامل $\frac{s_{A+5,t,l}}{1-s_{A+5,t,l}}$ لتصحيح لفئة العمر الأخيرة المفتوحة حيث يتم من خلالها تقدير عدد السنوات الإضافية المتوقع أن يعيشها الفرد داخل هذه الفئة بافتراض أن البقاء في هذه الفئة يتبع التوزيع الهندسي أي أن احتمال الوفاة ثابت في كل فترة زمنية لاحقة داخل هذه الفئة.

- نسبة النوع عند الميلاد SRB : هي نسبة المواليد الذكور إلى المواليد الإناث وهي إحدى معلمات النموذج البيزي التي تم الحصول على توزيع بعدي لها.
- نسبة النوع في معدل وفيات الأطفال دون سن الخامسة $SRU5MR$: هي نسبة معدل وفيات الأطفال الذكور دون الخامسة إلى معدل وفيات الأطفال الإناث دون الخامسة وقد تم اشتقاق كلا من المعدلين من أعداد المواليد والوفيات الناتجة من النموذج البيزي بطريقة (Preston et al. 2001) عن طريق قسمة عدد وفيات الأطفال دون عمر الخامسة في الفترة الزمنية $(t, t+5)$ على عدد المواليد في الفترة الزمنية $(t, t+5)$.
- نسبة النوع في إجمالي السكان $S RTP$: هي نسبة إجمالي السكان الذكور إلى إجمالي السكان الإناث وقد تم حساب إجمالي السكان الذكور وإجمالي السكان الإناث من تقديرات أعداد السكان التفصيلية $n_{a,t}$ الناتجة من النموذج البيزي عن طريق تجميع أعداد السكان لجميع الفئات العمرية في كل فترة زمنية لكل من الذكور والإناث كل على حدى.
- نسبة الإعالة $Dependency Ratio$: هي النسبة بين السكان خارج قوة العمل (الأطفال وكبار السن) والسكان داخل قوة العمل، ويمكن اشتقاق هذه النسبة من التوزيع العمري المقدر للسكان باستخدام النموذج البيزي باستخدام المعادلة الآتية:

$$\text{Dependency Ratio} = \frac{P_{<15} + P_{65+}}{P_{15-64}} \times 100 \quad (11)$$

حيث: $P_{<15}$ هو عدد السكان أقل من 15 سنة، P_{65+} هو عدد السكان 65 سنة فأكثر، P_{15-64} هو عدد السكان في سن العمل (15-64 سنة).

3.3 البيانات المستخدمة

- أعداد السكان حسب العمر والنوع في منتصف سنة الأساس (1986): تم الاعتماد على بيانات تعداد 1986 ومنها تقدير أعداد السكان في منتصف السنة باستخدام معادلة النمو الأسّي.
- أعداد السكان حسب العمر والنوع في منتصف سنوات التعداد (1996-2006-2016): تم الاعتماد على بيانات التعدادات في هذه السنوات ومنها تقدير أعداد السكان في منتصف هذه السنوات باستخدام معادلة النمو الأسّي.

■ الإنجاب:

تم الاستناد إلى سلسلة المسوح الديموغرافية والصحية والمسوح الأخرى المتاحة خلال فترة إعادة البناء، بالإضافة إلى مسح الصحة والأسرة في مصر لعام 2021، وذلك لاستخلاص كل من معدلات الإنجاب الكلية والمفصلة. وقد تم استخدام المعدلات الكلية المتوفرة، مع استكمال الفجوات الزمنية بينها وتمهيدها باستخدام أسلوب المنحنيات التكعيبية (Cubic Splines)، ومن ثم تم اشتقاق معدلات الإنجاب المفصلة المستخدمة في النموذج (f*).

■ الوفيات:

تم الاعتماد على جداول الحياة التي قدرتها الأمم المتحدة لكل من الذكور والإناث خلال فترة إعادة البناء، من أجل الحصول على نسب البقاء على قيد الحياة المستخدمة في النموذج (s*).

■ الهجرة:

نظرًا لعدم توفر بيانات دقيقة حول أعداد المهاجرين وتوزيعهم حسب العمر والنوع، فقد تم استبعاد الهجرة من عملية إعادة البناء.

■ نسبة النوع عند الميلاد:

تم حساب هذه النسبة خلال فترة إعادة البناء بالاعتماد على النشرة السنوية لإحصاءات المواليد والوفيات الصادرة عن الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء.

■ قيم المعلمات الفائقة Hyper parameters:

تم الاعتماد على آراء خبراء شعبة السكان بالأمم المتحدة UNPD في تقدير أخطاء قياس المعلمات الداخلة في النموذج ومنها تم تقدير المعلمات الفائقة (α, β) الممثلة في المستوى الرابع بالنموذج البيزي.

4. نتائج الدراسة

تتمثل النتائج الرئيسية للدراسة في اشتقاق التوزيعات البعدية للمقاييس السكانية التلخيصية (LEB و TFR) ونسب النوع المختلفة (SRB و SRU5MR و SRTP) وتلخيص هذه التوزيعات البعدية عن طريق حساب الوسيط وفترات المصدقية 95% لها وعرضهما بشكل بياني لكل مقياس، وقد تم حساب متوسط نصف اتساع فترات المصدقية كمؤشرا كميًا على درجة عدم اليقين في تقدير المعلمات. كما تم حساب (احتمال تفوق العمر المتوقع عند الميلاد للإناث مقارنة بالذكور) في جدول (1) ويعد هذا المؤشر الاحتمالي مكملًا لفترات المصدقية، حيث يعكس درجة عدم اليقين المرتبطة بالفروق بين النوعين في العمر المتوقع، كما يسهم في توجيه السياسات السكانية والصحية. وتم حساب احتمال أن تكون نسبة النوع عند الميلاد أكبر من النسبة الطبيعية البيولوجية (1.05) في جدول (2) للكشف عن وجود تحيز منهجي لصالح الذكور من عدمه. كما تم حساب (احتمال أن معدل وفيات الذكور أقل من الإناث) في جدول (3) لتقييم مدى انحراف وفيات الأطفال دون سن الخامسة عن النمط البيولوجي المتوقع ويعتبر هذا المؤشر الاحتمالي أداة مهمة لرصد أوجه عدم المساواة بين النوعين في البقاء على قيد الحياة خلال مرحلة الطفولة المبكرة، فزيادة هذا الاحتمال قد يشير إلى عوامل اجتماعية أو ثقافية أو تمييز ضد الإناث. ولقياس مدى التغير في نسب النوع المقدره خلال فترة إعادة البناء، تم حساب فترات مصداقية بنسبة 95% للفرق بين قيمة نسبة النوع في نهاية الفترة مقارنة ببدايته، كما تم حساب (احتمال أن يكون هذا الفرق أكبر من الصفر) في جدول (4)، وهو ما يستخدم كمؤشر احتمالي لتحديد مدى وجود زيادة حقيقية في نسبة النوع مع مراعاة عدم اليقين المرتبط بالتقديرات البعدية. كما تم حساب نسبة الإعالة في جدول (5).

تم إجراء التحليل واستخراج جميع النتائج باستخدام برنامج R مع الاعتماد بشكل أساسي على الحزمة PopReconstruct بالإضافة إلى استخدام حزمة coda للتحقق من تقارب سلاسل ماركوف مونت كارلو (MCMC) المستخدمة في سحب عينة كبيرة من التوزيع البعدي لمعلمات النموذج. وقد أظهرت نتائج حزمة coda

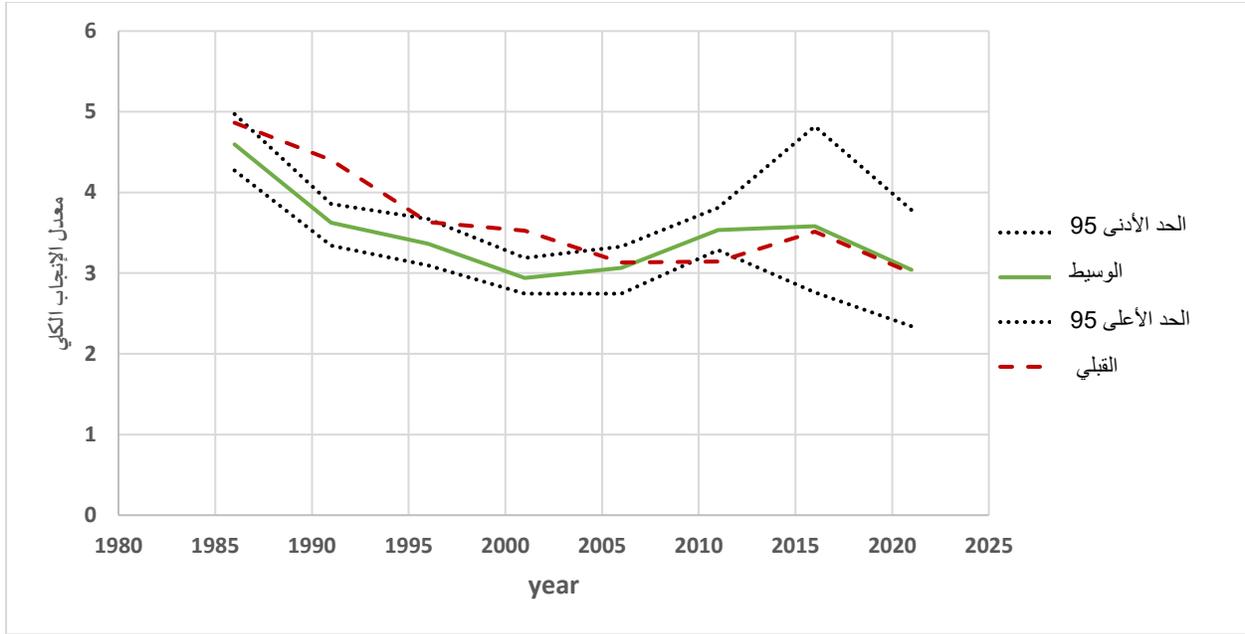
الآتي: أولاً: تم فحص الرسوم البيانية لتتبع السلاسل (trace plots) بصريا والتي بدت مستقرة بعد مرحلة ال burn-in، مع قلب عشوائي ضمن نطاق ثابت بدون اتجاهات أو دورات معينة مما يدل على تقارب جيد للسلاسل. ثانياً: تم استخدام إحصاء Gelman–Rubin (R) لتقييم التقارب، وقد أظهرت النتائج أن جميع القيم ≈ 1 ، مما يدل على أن التباين داخل السلاسل مشابها للتباين بين السلاسل ومن ثم تقارب السلاسل بشكل جيد. وهو ما يعطي القوة والثقة للتقديرات الاحتمالية ضمن الدراسة. ثالثاً: تم استخدام اختبار Raftery and Lewis لتقييم مدى كفاية عدد التكرارات في سلاسل MCMC الخاصة بالنموذج البيزي، وذلك بدقة قدرها $0.0125 \pm$ وبمستوى ثقة يبلغ 95%. وقد أشارت نتائج الاختبار إلى أن العدد الإجمالي للتكرارات iterations المطلوب لتحقيق هذا المستوى من الدقة والثقة هو (218,652)، مما يدل على وجود ارتباط ذاتي مرتفع نسبيا في السلسلة وضرورة التكرار الكافي لضمان جودة التقدير وهو ما قدمته الدراسة.

وعند عرض النتائج بيانياً، يمثل الخط المتقطع الأحمر القيم المبدئية للمقياس الممثل بيانياً والخط الأخضر المتصل وسيط التوزيع البعدي له والخطان المنقطان باللون الأسود حدي فترة المصدقية باحتمال 95%.

1.4 معدل الإنجاب الكلي Total Fertility Rate

يعرف معدل الإنجاب الكلي بأنه عدد المواليد للسيدة خلال حياتها الإنجابية كلها إذا ما استمرت في الإنجاب خلال هذه الفترة وفقا لمعدلات الإنجاب التفصيلية الملاحظة حالياً، وهو يعبر عن مستوى الإنجاب السائد في المجتمع وليس نمطه وهو إحدى المؤشرات الهامة التي تعكس الحالة الصحية والاجتماعية والاقتصادية للمجتمع. (وزارة الصحة والسكان وآخرون، 2015)

يوضح الشكل (1) أن قيم وسيط التوزيع البعدي لمعدل الإنجاب الكلي تقل عن القيم المبدئية له من بداية فترة إعادة البناء وحتى عام 2006، ثم تزيد قيم وسيط التوزيع البعدي عن القيم المبدئية في الفترة (2006-2016) وتكاد تتطابق القيم في الفترة (2016-2021). انخفاض وسيط التوزيع البعدي لمعدل الإنجاب الكلي خلال فترة إعادة البناء كلها ما عدا الفترة (2006-2016)، كما يقل اتساع فترات المصدقية لمعدل الإنجاب الكلي من بداية فترة إعادة البناء وحتى عام 2011 ويزيد بعد ذلك بمتوسط نصف اتساع لهذه الفترات يساوي 0.43 طفل لكل سيدة. ويشير انخفاض الوسيط إلى تراجع معدل الإنجاب الكلي خلال معظم الفترات الزمنية، مما يعكس تحولا ديموغرافيا نحو معدلات إنجاب أدنى. كما أن قلة اتساع فترات المصدقية يعني انخفاض عدم اليقين (زيادة الثقة) في تقدير معدل الإنجاب الكلي خلال أغلب الفترات الزمنية.



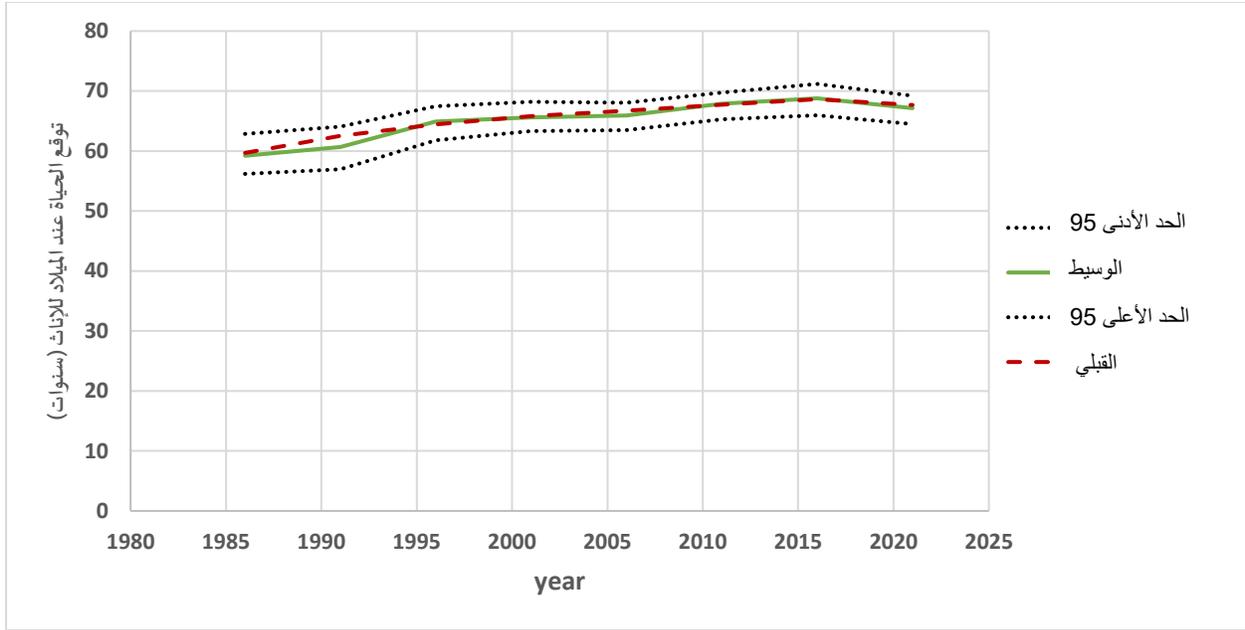
شكل (1): القيم المبدئية والوسيط وفترات المصدقية باحتمال 95% للقيم البعدية لمعدل الإنجاب الكلي

المصدر: من إعداد الباحثة من نتائج النموذج البيزي

2.4 توقع الحياة عند الميلاد Life Expectancy at Birth

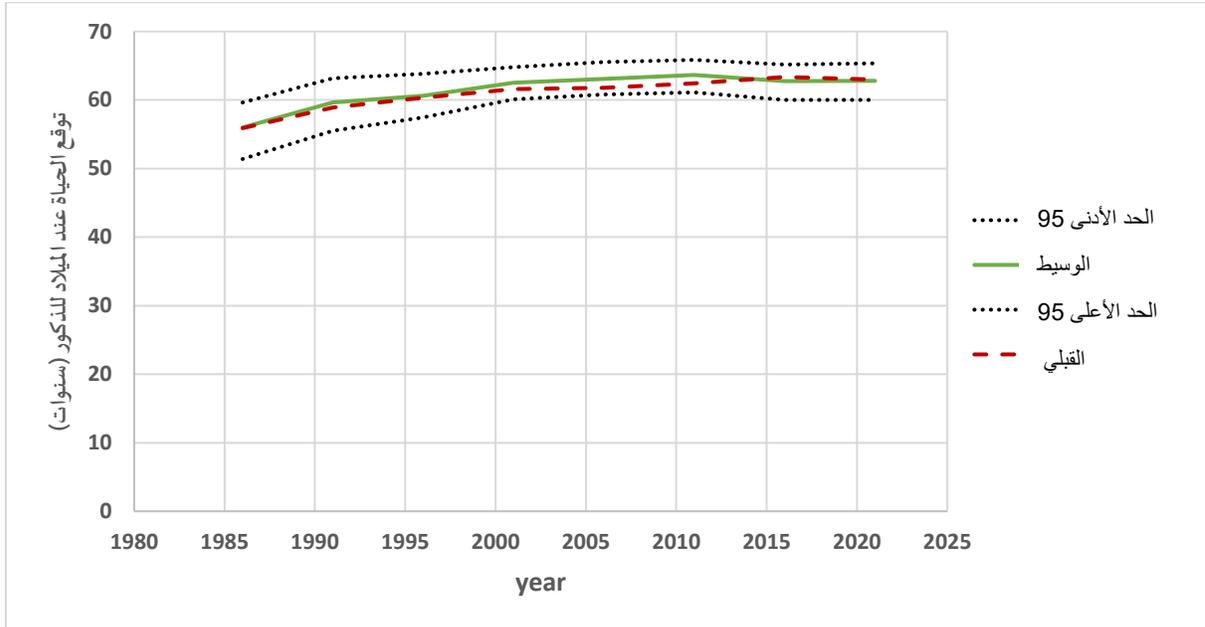
هو متوسط عدد سنوات الحياة التي يعيشها الشخص منذ الميلاد وحتى الوفاة إذا ظلت أنماط الوفيات السائدة في وقت ميلاده على ما هي عليه طيلة حياته ويعتبر هذا المقياس من أهم المقاييس التي يتم الحصول عليها من جداول الحياة حيث أنه مؤشر صحي هام يستخدم في مقارنة المستوى الصحي بين الدول وكذلك مقارنة المستوى الصحي للدولة الواحدة عبر الزمن. ويستخدمه الإكتواريون أيضا في حساب أقساط التأمين على الحياة. (المسح السكاني الصحي، 2014)

تزداد قيم وسيط التوزيع البعدي لتوقع الحياة عند الميلاد عبر الزمن خلال فترة إعادة البناء، مما يدل على تحسن الظروف الصحية والاقتصادية والاجتماعية في المجتمع. كما تتقارب من القيم المبدئية وتقل فترة المصدقية اتساعا خلال فترة إعادة البناء كلها بمتوسط نصف اتساع فتحات المصدقية يساوي 2.7 سنة للإناث و2.9 سنة للذكور، وهو ما يوضحه الشكل (2) والشكل (3). مما يدل على انخفاض عدم اليقين بالنسبة لتقدير توقع الحياة عند الميلاد.



شكل (2): القيم المبدئية والوسيط وفترات المصدافية باحتمال 95% للقيم البعدية لتوقع الحياة عند الميلاد للإناث

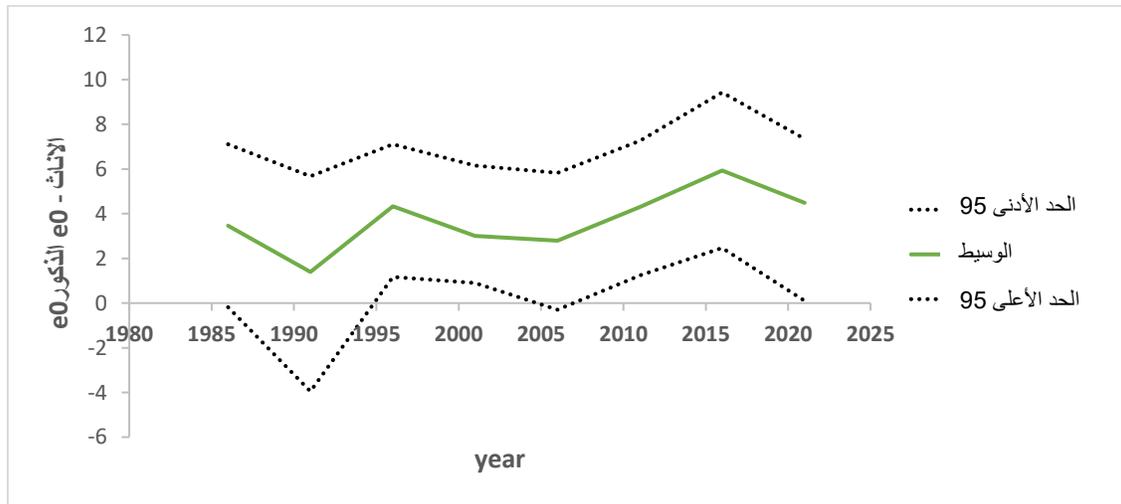
المصدر: من إعداد الباحثة من نتائج النموذج البيزي



شكل (3): القيم المبدئية والوسيط وفترات المصدافية باحتمال 95% للقيم البعدية لتوقع الحياة عند الميلاد للذكور

المصدر: من إعداد الباحثة من نتائج النموذج البيزي

ويعد حساب الفرق بين توقع الحياة عند الميلاد للإناث وللذكور المقياس الأكثر شيوعاً للمقارنة بينهما عن حساب النسبة بينهما، ويوضح الشكل (4) وقوع وسيط التوزيع البعدي والحد الأعلى لفترات المصدقية والحد الأدنى لفترات المصدقية (من بعد عام 1991) لفرق توقع الحياة عند الميلاد بين الإناث والذكور فوق خط الصفر، مما قد يدل على طول عمر الإناث عن الذكور خلال فترة إعادة البناء، كما تتسع فترات المصدقية لهذا المقياس نوعاً ما مقارنة بفترات المصدقية لتوقع الحياة عند الميلاد لكل من الذكور والإناث، حيث متوسط نصف اتساع فترات المصدقية يساوي 3.4 سنة. كما يوضح جدول (1) احتمال أن يكون فرق توقع الحياة عند الميلاد بين الإناث والذكور أكبر من صفر ومنه يتضح زيادة هذا الاحتمال طول فترة إعادة البناء، مما يدل على أن توقع الحياة عند الميلاد للإناث أكبر منه للذكور خلال فترة إعادة البناء، وهو ما يوافق الحقيقة البيولوجية بأن عمر الإناث أطول من عمر الذكور. ومن جدول (4) يتضح عدم وجود دليل قوي على تزايد فرق توقع الحياة عند الميلاد بين الإناث والذكور خلال فترة إعادة البناء، حيث احتمال أن الزيادة في هذا الفرق يكون أكبر من الصفر خلال فترة إعادة البناء (يساوي 0.64).



شكل (4): الوسيط وفترات المصدقية باحتمال 95% للقيم البعدية لفرق توقع الحياة عند الميلاد بين الإناث والذكور

المصدر: من إعداد الباحثة من نتائج النموذج البيزي

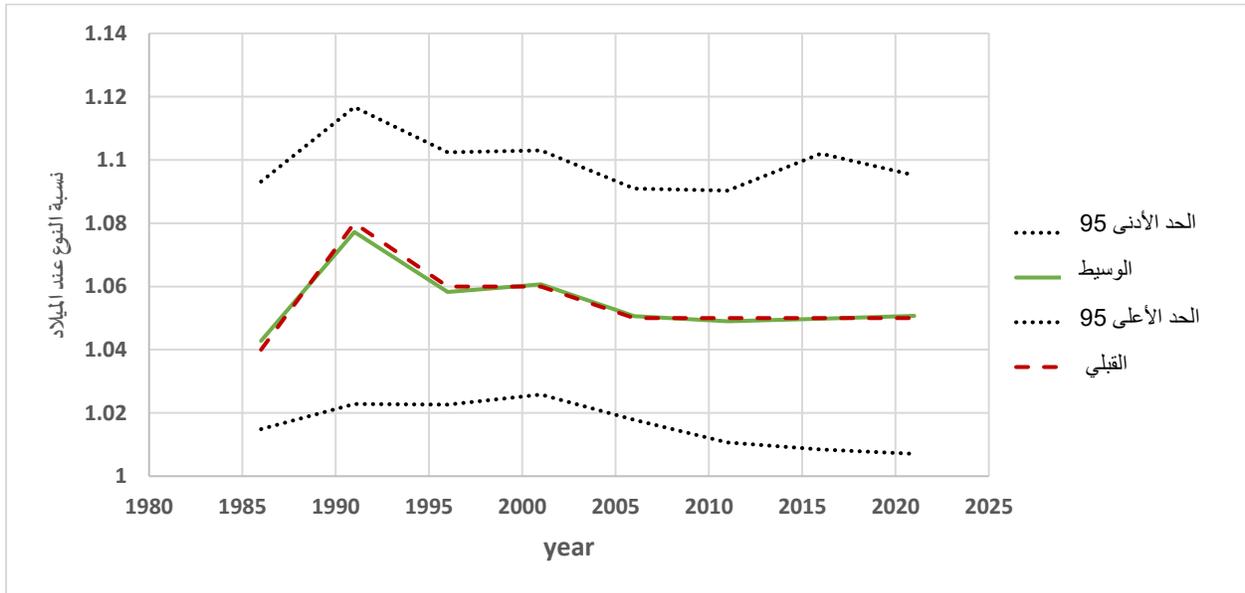
جدول (1): احتمال أن يكون فرق توقع الحياة عند الميلاد بين الإناث والذكور أكبر من صفر

Pr(female e0 – male e0 > 0)							
2021	2016	2011	2006	2001	1996	1991	1986
0.978	1	0.999	0.963	0.998	0.998	0.703	0.964

المصدر: من إعداد الباحثة من نتائج النموذج البيزي

3.4 نسبة النوع عند الميلاد Sex Ratio at Birth

هي نسبة المواليد الذكور إلى المواليد الإناث، ويتضح من الشكل (5) تقارب قيم وسيط التوزيع البعدي مع القيم المبدئية بشكل كبير خلال فترة إعادة البناء كلها ويزيد التقارب لحد التطابق عبر الزمن. كما تتراوح قيمة الوسيط بين (1.04-1.06) - مثل معظم البلدان في ظل الظروف الطبيعية (UNFPA, 2010) - في معظم الفترة ما عدا بداية التسعينات. كما لا يختلف اتساع فترات المصدقية كثيرا بين سنوات إعادة البناء بمتوسط نصف اتساع لهذه الفترات يساوي 0.04. كما يشير جدول (2) إلى أن احتمال زيادة نسبة النوع عند الميلاد عن النسبة الطبيعية البيولوجية (1.05) كان مرتفعا في أوائل التسعينيات وحتى أوائل الألفينات، مما قد يعكس تحيزا لصالح الذكور أو اختلالا مؤقتا في تسجيل المواليد. إلا أن هذه الاحتمالات انخفضت في باقي الفترة، مما يدل على عدم كفاية الأدلة الإحصائية لوجود اختلال في التوازن بين النوعين عند الولادة. ومن جدول (4) يتضح عدم وجود دليل قوي على زيادة نسبة النوع عند الميلاد خلال فترة إعادة البناء، حيث احتمال أن الزيادة في نسبة النوع عند الميلاد تكون أكبر من الصفر (يساوي 0.64)، مما يدل على عدم وجود اختلال في التوازن بين النوعين عند الميلاد.



شكل (5): القيم المبدئية والوسيط وفترات المصدقية باحتمال 95% للقيم البعدية لنسبة النوع عند الميلاد

المصدر: من إعداد الباحثة من نتائج النموذج البيزي

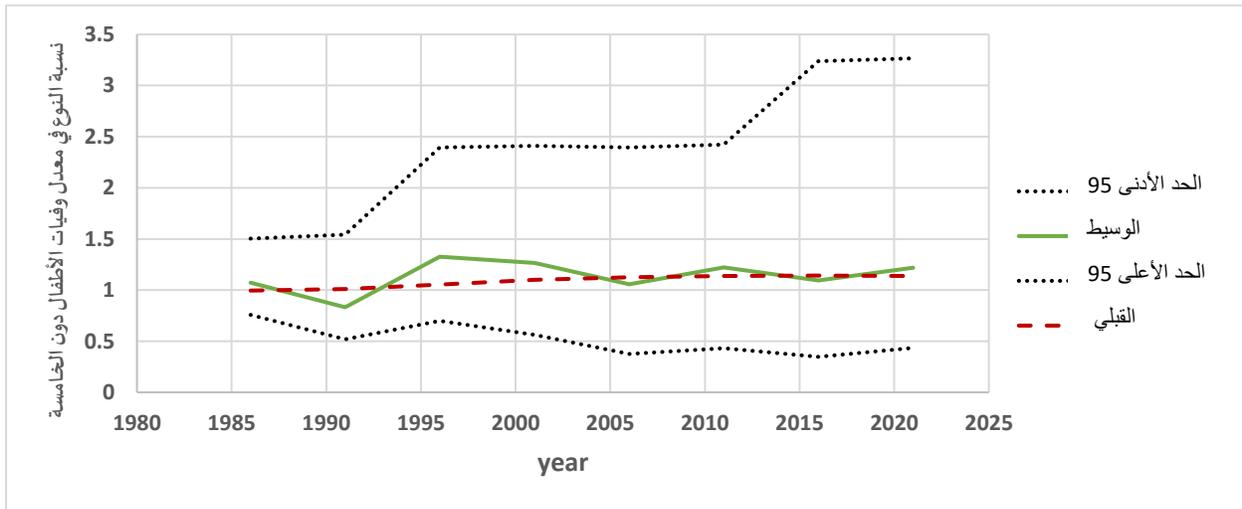
جدول (2): احتمال أن تكون نسبة النوع عند الميلاد أكبر من (1.05)

Pr(SRB > 1.05)							
2021	2016	2011	2006	2001	1996	1991	1986
0.511	0.494	0.478	0.515	0.779	0.718	0.884	0.321

المصدر: من إعداد الباحثة من نتائج النموذج البيزي

4.4 نسبة النوع في معدل وفيات الأطفال دون الخامسة Sex Ratio of Under 5 Mortality Rate

هي نسبة معدل وفيات الأطفال الذكور دون الخامسة إلى معدل وفيات الأطفال الإناث دون الخامسة، ومن الشكل (6) يتضح تقارب قيم وسيط التوزيع البعدي مع القيم المبدئية بشكل كبير خلال فترة إعادة البناء كلها، كما يتضح تمركز القيم حول الواحد مما يدل على عدم اختلاف معدل وفيات الأطفال دون الخامسة كثيرا بين الإناث والذكور، وتتسع فترات المصدقية مع الزمن بمتوسط نصف اتساع لهذه الفترات يساوي 0.94. كما يوضح جدول (3) احتمال أن تكون نسبة النوع في معدل وفيات الأطفال دون الخامسة أقل من الواحد ومنه يتضح أن هذه الاحتمالات قليلة نوعا ما خلال فترة إعادة البناء، أي لا يوجد دليل على أن معدل وفيات الأطفال الإناث دون الخامسة أكبر من الذكور مما يشير إلى عدم وجود تمييز بين النوعين في الرعاية الصحية والغذائية للأطفال. ومن جدول (4) يتضح عدم وجود دليل قوي على زيادة نسبة النوع في معدل وفيات الأطفال دون الخامسة خلال فترة إعادة البناء، حيث احتمال أن الزيادة في نسبة النوع في معدل وفيات الأطفال دون الخامسة تكون أكبر من الصفر يساوي (0.59).



شكل (6): القيم المبدئية والوسيط وفترات المصدقية باحتمال 95% للقيم البعدية لنسبة النوع في معدل وفيات الأطفال دون الخامسة

المصدر: من إعداد الباحثة من نتائج النموذج البيزي

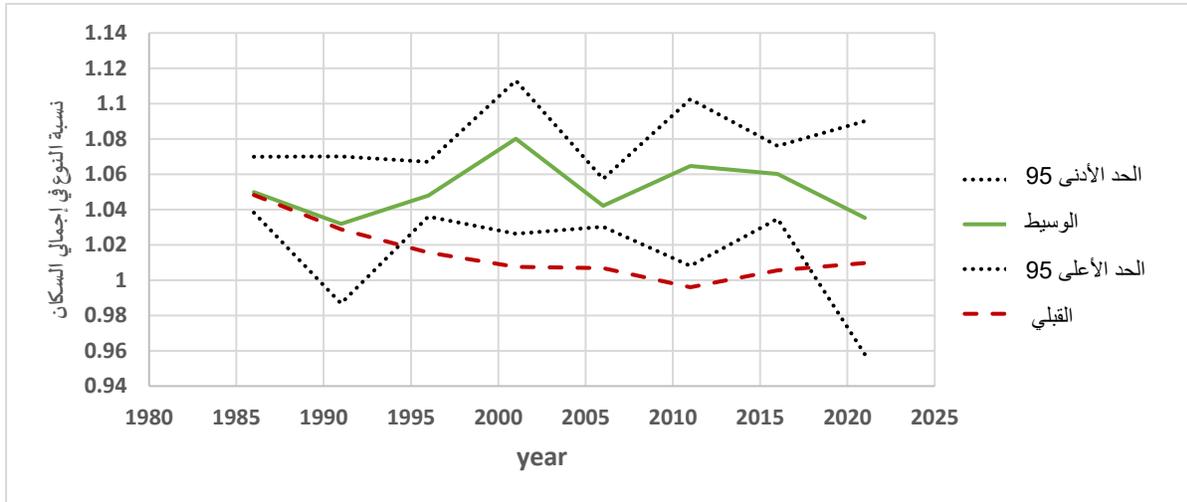
جدول(3): احتمال أن تكون نسبة النوع في معدل وفيات الأطفال دون الخامسة أقل من واحد

Pr(male U5MR < female U5MR) OR Pr(SRU5MR < 1)							
2021	2016	2011	2006	2001	1996	1991	1986
0.367	0.428	0.338	0.455	0.283	0.212	0.673	0.375

المصدر: من إعداد الباحثة من نتائج النموذج البيزي

5.4 نسبة النوع في إجمالي السكان Sex Ratio in Total Population

هي نسبة إجمالي السكان الذكور إلى إجمالي السكان الإناث، وهو يعد مقياساً للتوازن بين النوعين في المجتمع بغض النظر عن الفئة العمرية ويستخدم في بعض الأحيان كبديل لنسبة النوع عند الميلاد وعند الوفاة في حالة القلق من دقتهما (Wheldon et al, 2015). يتضح من الشكل (7) أنه تزيد قيم وسيط التوزيع البعدي عن القيم المبدئية خلال فترة إعادة البناء ما عدا بدايتها، كما يختلف اتساع فترات المصدقية خلال فترة إعادة البناء بمتوسط نصف اتساع لهذه الفترات يساوي 0.03 ويزيد عدم اليقين (اتساع فترات المصدقية) للسنوات التي لم يجرى فيها التعداد نظراً لارتفاع الخطأ في التقديرات السكانية بين التعدادات. ومن جدول (4) يتضح عدم وجود دليل قوي على زيادة نسبة النوع في إجمالي السكان خلال فترة إعادة البناء، حيث تبلغ احتمالية أن تكون هناك زيادة حقيقية موجبة في نسبة النوع بين إجمالي السكان (0.32).



شكل(7): القيم المبدئية والوسيط وفترات المصدقية باحتمال 95% للقيم البعدية لنسبة النوع في إجمالي السكان

المصدر: من إعداد الباحثة من نتائج النموذج البيزي

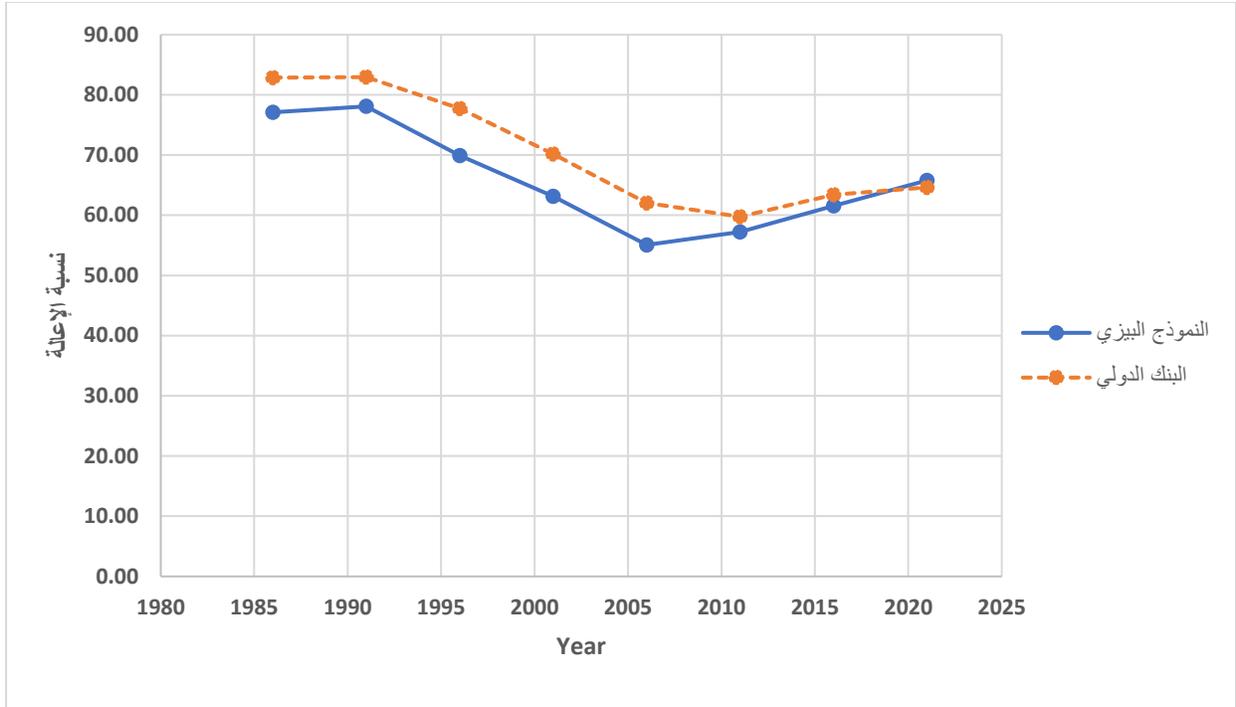
جدول (4): فترات المصدقية باحتمال 95% واحتمال أن القيمة أكبر من صفر للزيادة في نسب النوع المختلفة خلال فترة إعادة البناء

مقياس الزيادة في نسب النوع المختلفة خلال فترة إعادة البناء (1986-2021)	فترات مصداقية باحتمال 95%	احتمال أن مقياس الزيادة أكبر من صفر
Sex diff in e0 2021-1986 الفرق بين توقع الحياة عند الميلاد للإناث والذكور	(-3.997 ، 5.422)	0.64
SRB2021-SRB1986 نسبة النوع عند الميلاد	(-0.062 ، 0.056)	0.64
SRU5MR2021-SRU5MR1986 نسبة النوع في معدل وفيات الأطفال دون الخامسة	(-1.003 ، 2.314)	0.59
S RTP2021-S RTP1986 نسبة النوع في إجمالي السكان	(-0.089 ، 0.045)	0.32

المصدر: من إعداد الباحثة من نتائج النموذج البيزي

6.4 نسبة الإعالة Dependency Ratio

تعبر هذه النسبة عن عدد الأفراد المعالين (الأطفال وكبار السن) مقابل كل 100 فرد في سن العمل، وقد أوضح (Preston, et al, 2001) أهمية هذا المؤشر في تحليل الهيكل العمري وتقييم العبء السكاني على القوى العاملة. ويمكن اشتقاق هذه النسبة من التوزيع العمري المقدر للسكان باستخدام النموذج البيزي. ويشير كل من جدول (5) وشكل (8) إلى انخفاض تدريجي في نسبة الإعالة من 1991 إلى 2006، مما يدل على تحسن في التركيبة السكانية (زيادة نسبة السكان في سن العمل)، كما يلاحظ ارتفاعاً طفيفاً بدءاً من 2011 وحتى 2021، ما قد يشير إلى بدء زيادة أعداد كبار السن أو تباطؤ في انخفاض الخصوبة. وبمقارنة نسبة الإعالة المقدرة من النموذج البيزي بتقديرات البنك الدولي عند نفس النقاط الزمنية، نجد تفاوتاً ملحوظاً بين التقديرين حيث تقديرات النموذج البيزي أقل من تقديرات البنك الدولي من بداية الفترة 1986 وحتى عام 2006، وقد يرجع هذا التفاوت إلى أن النموذج البيزي يأخذ في اعتباره عدم اليقين في بيانات الخصوبة والوفيات والتوزيع العمري، مما يقلل من تحيز البيانات الخام. ويتقارب التقديران من عام 2011 حتى عام 2021، بل يتجاوز تقدير النموذج البيزي تقدير البنك الدولي قليلاً في عام 2021، ما قد يعكس استجابة النموذج البيزي للتغيرات السكانية الحديثة.



شكل (8): تقدير نسبة الإعالة في مصر في الفترة 2021-1986

المصدر: من إعداد الباحثة من نتائج النموذج البيزي وتقديرات البنك الدولي المسجلة بجدول (5)

جدول (5): تقدير نسبة الإعالة في مصر في الفترة 2021-1986

نسبة الإعالة% (Dependency Ratio)								
2021	2016	2011	2006	2001	1996	1991	1986	
65.8	61.5	57.2	55.1	63.2	69.9	78.1	77.1	النموذج البيزي*
64.62	63.38	59.76	62.03	70.19	77.74	82.94	82.85	البنك الدولي**

المصدر: *من إعداد الباحثة من نتائج النموذج البيزي.

**تقديرات البنك الدولي. - World Bank. (2024). *Age dependency ratio (% of working-age population)*

Egypt. Retrieved June 2, 2025, from <https://www.indexmundi.com/facts/egypt/age-dependency-ratio>.

5. أهم النتائج

قامت الدراسة بإعادة بناء (تقدير) العديد من المقاييس السكانية التلخيصية وهي معدل الإنجاب الكلي، توقع الحياة عند الميلاد لكل من الذكور والإناث، نسبة النوع عند الميلاد، نسبة النوع في معدل وفيات الأطفال دون الخامسة، ونسبة النوع في إجمالي السكان، ونسبة الإعالة في مصر في الفترة (2021-1986) باستخدام الأسلوب البيزي الذي يأخذ في الاعتبار عدم اليقين بشكل آني في جميع المعلمات. تم توليد عينات من التوزيعات البعدية لأعداد السكان ومعدلات الإنجاب والوفيات التفصيلية ومنها تم اشتقاق التوزيعات البعدية للمقاييس

التلخيصية ونسب النوع وحساب الوسيط وفترات المصدقية 95% وكذلك بعض المؤشرات الاحتمالية الأخرى باستخدام برنامج R من خلال الحزمة PopReconstruct.

وقد أشارت الدراسة إلى انخفاض وسيط التوزيع البعدي لمعدل الإنجاب الكلي، إلى جانب تراجع اتساع فترات المصدقية بمتوسط نصف اتساع للفترة (0.43)، مما يدل على اتجاهًا واضحًا نحو انخفاض مستويات الإنجاب وزيادة دقة التقديرات، ما يشير إلى تقدم تدريجي نحو التحول الديموغرافي. ويعزز هذا الاتجاه تزايد توقع الحياة عند الميلاد لكل من الذكور والإناث وقلّة اتساع فترات المصدقية لها بمتوسط نصف اتساع للفترة (2.9) للذكور و(2.7) للإناث مما يدل على زيادة دقة التقدير، كما لوحظ ثبات الفارق النسبي في العمر المتوقع لصالح الإناث دون وجود دليل إحصائي قوي على اتساع الفجوة بين النوعين في فترة إعادة البناء، حيث احتمال كون الفارق في توقع الحياة عند الميلاد بين الإناث والذكور أكبر من الصفر قد ازداد على مدار فترة إعادة البناء، مما يدل على أن توقع الحياة عند الميلاد للإناث أكبر منه للذكور خلال فترة إعادة البناء، وهو ما يوافق الحقيقة البيولوجية بأن عمر الإناث أطول من عمر الذكور، كما لم يوجد دليل قوي على تزايد فرق توقع الحياة عند الميلاد بين الإناث والذكور خلال فترة إعادة البناء، حيث احتمال أن الزيادة في هذا الفرق يكون أكبر من الصفر خلال فترة إعادة البناء (يساوي 0.64). وكما هو الحال في معظم البلدان في ظل الظروف الطبيعية، أوضحت التقديرات استقرار نسبة النوع عند الميلاد في الحدود الطبيعية بين (1.04-1.06) خلال معظم فترة إعادة البناء مع عدم اختلاف اتساع فترات المصدقية كثيرا بين سنوات إعادة البناء بمتوسط نصف اتساع لهذه الفترات يساوي (0.04)، كما اتضح أن احتمال أن الزيادة في نسبة النوع عند الميلاد تكون أكبر من الصفر (يساوي 0.64)، مما يدل على عدم وجود دليل على اختلافات ناتجة عن التفضيل النوعي عند الميلاد.

كما اتسعت فترات المصدقية مع الزمن لنسبة النوع في معدلات وفيات الأطفال دون الخامسة بمتوسط نصف اتساع لهذه الفترات يساوي (0.94). كما أن احتمال أن هذا المعدل للإناث أعلى من الذكور قليلا نوعا ما خلال فترة إعادة البناء، مما يشير إلى عدم وجود تمييز بين النوعين في الرعاية الصحية والغذائية للأطفال، مما يعكس تحسنا في العدالة في الوصول إلى الرعاية الصحية والتغذية للأطفال. كما لم يوجد دليل قوي على زيادة نسبة النوع في معدل وفيات الأطفال دون الخامسة خلال فترة إعادة البناء، حيث احتمال أن الزيادة في نسبة النوع في معدل وفيات الأطفال دون الخامسة تكون أكبر من الصفر يساوي (0.59).

فيما يتعلق بنسبة النوع في إجمالي السكان، فقد أظهرت تقديراتها درجة من عدم اليقين (اتساع فترات المصدقية بمتوسط نصف اتساع للفترة (0.03)، خاصة في السنوات التي لم يجرى فيها التعداد)، ما يعكس الأهمية القصوى للبيانات الدقيقة والدورية، والتي تعد ضرورية لتقليص الخطأ وتحسين دقة النماذج السكانية. كما اتضح عدم وجود دليل قوي على زيادة نسبة النوع في إجمالي السكان خلال فترة إعادة البناء،

حيث تبلغ احتمالية أن تكون هناك زيادة حقيقية موجبة في نسبة النوع بين إجمالي السكان (0.32). أما عن نسبة الإعالة، فقد أشارت النتائج إلى انخفاض تدريجي في نسبة الإعالة بين 1991 و2006، مما يعكس تحسناً في التركيبة السكانية في تلك الفترة، ثم ارتفاع طفيف من 2011 إلى 2021، مما قد يشير إلى تغيرات سكانية. كما أظهرت المقارنة بين النموذج البيزي وتقديرات البنك الدولي أن النموذج البيزي قدم نسباً أقل من البنك الدولي حتى عام 2006، لكنه اقترب منه بعد ذلك، مما يعكس دقة النموذج في التقاط التحولات السكانية الحديثة.

نستخلص مما سبق وجود تحسن ملحوظ في المؤشرات الديموغرافية في مصر، بما يعكس خطوات متقدمة نحو التحول الديموغرافي وتحقيق قدر أكبر من المساواة بين الذكور والإناث في مؤشرات البقاء. إلا أن زيادة درجة عدم اليقين في تقديرات بعض المقاييس خلال بعض الفترات الزمنية يشير إلى وجود نقص في البيانات أو ضعف في جودتها خلال هذه الفترات، ومن ثم توصي الدراسة بتعزيز جهود جمع البيانات السكانية بشكل دوري ودقيق لما له من دور محوري في تحسين جودة التقديرات وتقليل عدم اليقين في النماذج السكانية. كما توصي الدراسة بمواصلة مراقبة مؤشرات النوع حيث إنه أمراً ضرورياً لضمان عدم ظهور اختلالات قائمة على التفضيل النوعي. كما توصي الدراسة بتطبيق النموذج على المستوى ما دون القومي إذا توفرت البيانات المحلية اللازمة لذلك، حيث إن تحليل نسب النوع على مستوى المحافظات يمكن من تحديد الأنماط الجغرافية المرتبطة بالتميز النوعي أو بالهجرة الداخلية غير المتوازنة مما يساهم في دعم التخطيط المحلي للخدمات.

وختاماً، في ظل التحديات التي تواجه الباحثين في تحليل المؤشرات السكانية – خاصة عندما تكون البيانات غير مكتملة أو متفاوتة الجودة – يبرز النموذج البيزي الهرمي كأداة قوية ومرنة تساعد في تقديم صورة أدق وأغنى للواقع الديموغرافي، من خلال الاستفادة من مختلف مصادر البيانات وتقدير مدى عدم اليقين المحيط بها. يمتاز النموذج البيزي الهرمي المستخدم بعدة مزايا:

أولاً: يقدم النموذج إطاراً مرناً يتيح الجمع بين مصادر بيانات متعددة – مثل التعدادات والمسوح الصحية والسجلات الحيوية – في تقدير موحد يأخذ في الحسبان عدم اليقين المرتبط بكل مصدر.

ثانياً: يسمح النموذج بتمثيل الزمن كسلسلة زمنية ملساء، مما يمكنه من التقاط الاتجاهات طويلة الأجل دون أن يتأثر بالتقلبات المؤقتة أو الأخطاء العشوائية في البيانات.

ثالثاً: يتميز النموذج بقدرته على تقدير التوزيعات الاحتمالية الكاملة لكل مؤشر في آن واحد، بدلاً من تقديم تقدير نقطي فقط، مما يعزز تقدير درجة عدم اليقين في النتائج بشكل كبير.

رابعاً: يسمح الهيكل الهرمي للنموذج بتبادل المعلومات بين الفترات الزمنية المختلفة، وهو ما يعد مفيداً في حالات البيانات غير المكتملة.

وعلى الرغم مما يتيح النموذج من مرونة في تقدير المؤشرات السكانية الرئيسية مثل معدل الخصوبة الكلي وتوقع الحياة ونسبة النوع، إلا أن هناك عدة محدوديات تؤثر على دقته وتفسير نتائجه. (أ) يعتمد النموذج بدرجة كبيرة على جودة البيانات المتوفرة، خاصة في الفترات التي تشهد ضعفاً في التغطية أو تسجيلاً غير منتظم للمواليد والوفيات. (ب) تتأثر التقديرات بشكل كبير بالمعتقدات القبلية (priors)، ما يجعل النتائج في الفترات ذات البيانات الضعيفة انعكاساً كبيراً لهذه المعتقدات أكثر من كونها انعكاساً للواقع. (ج) يفترض النموذج استقلالية المعلومات واستقلالية أخطاء القياس بهدف التبسيط، ولكن قد يؤثر ذلك دقة التقدير والوصول إلى نتائج أقل واقعية. (د) يظهر النموذج محدودية في تمثيل التحولات السكانية المفاجئة، مثل تلك الناتجة عن الأزمات الاقتصادية أو التغيرات السياسية الحادة، حيث يفضل الاتجاهات السلسلة والمستمرة زمنياً، ما قد يؤدي إلى تسطيح أو تأخير في رصد التغيرات الحقيقية. خامساً: إن النموذج يقدر المؤشرات على فترات زمنية خمسية، ما يقلل من حساسيته في التقاط التغيرات السنوية الدقيقة التي قد تكون ضرورية في فهم ديناميكيات التحول السكاني في المجتمع محل الدراسة. ولمعالجة محدوديات النموذج وتحسين درجة الثقة في التقديرات السكانية الناتجة عنه.

وتقترح الدراسة إجراء تحليل حساسية لاختبار مدى تأثير المعتقدات القبلية (priors) على النتائج، وتقديم نتائج بديلة عند الحاجة. إلى استخدام توزيعات متعددة المتغيرات مثل التوزيع الطبيعي المتعدد لتمثيل الترابط بين المعلومات ولتمثيل العلاقة بين أخطاء القياس، أو استخدام منهجيات مثل covariate-based error models لتقدير أخطاء القياس بشكل واقعي أكثر، أو استخدام توزيع Wishart لتحديد هيكل التباين بين أخطاء القياس.

قائمة المراجع

أولاً: المراجع باللغة العربية

الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء. (2022). المسح الصحي للأسرة المصرية 2021. القاهرة، مصر: الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء

مصطفى، هانم (2024). إعادة بناء السكان في مصر باستخدام النموذج البيزي، *المجلة المصرية للسكان وتنظيم الأسرة*، 55(2): 52-70، كلية الدراسات العليا للبحوث الإحصائية، جامعة القاهرة.

<https://doi.org/10.21608/mskas.2024.245778.1015>

وزارة الصحة والسكان، الزناتي ومشاركوه، ومؤسسة ICF الدولية. (2015). المسح السكاني الصحي: مصر 2014. القاهرة، مصر، وروكفيل، ميرلاند، الولايات المتحدة الأمريكية: وزارة الصحة والسكان، ومؤسسة ICF الدولية.

ثانياً: المراجع باللغة الإنجليزية

- Alexander, M., & Alkema, L. (2018). A Bayesian hierarchical model to estimate subnational populations of women of reproductive age. *PAA 2018*. https://www.monicaalexander.com/pdf/bayesian_kenya.pdf
- Bertino, S., & Sonnino, E. (2004). The stochastic inverse projection and the population of Velletri (1590–1870). In E. Barbi, S. Bertino, & E. Sonnino (Eds.), *Inverse Projection Techniques* (pp. 75–106). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-08016-0_4
- Brunborg, H. (1976). The inverse projection method applied to Norway, 1735–1974 [Unpublished manuscript]. Oslo: Statistics Norway.
- Bryant, J. R., & Graham, P. J. (2013). Bayesian demographic accounts: Subnational population estimation using multiple data sources. *Bayesian Analysis*, 8(3): 591–622. <https://doi.org/10.1214/13-BA820>
- Chao, F., Gerland, P., Cook, A. R., & Alkema, L. (2021). Global estimation and scenario-based projections of sex ratio at birth and missing female births using a Bayesian hierarchical time series mixture model. *Annals of Applied Statistics*, 15(3): 1499–1528. <https://doi.org/10.1214/20-AOAS1436>
- Daponte, B. O., Kadane, J. B., & Wolfson, L. J. (1997). Bayesian demography: Projecting the Iraqi Kurdish population, 1977–1990. *Journal of the American Statistical Association*, 92(439): 1256–1267. <https://doi.org/10.1080/01621459.1997.10473647>
- Durowaa-Boateng, A., Yildiz, D., & Goujon, A. (2023). A Bayesian model for the reconstruction of education- and age-specific fertility rates: An application to African and Latin American countries. *Demographic Research*, 49, 809–848. [10.4054/DemRes.2023.49.31](https://doi.org/10.4054/DemRes.2023.49.31)
- European Institute for Gender Equality. (2019). *Gender statistics and indicators: Why they matter for sustainable development*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2839/743552>
- Hussein, M. A., Mwaila, M., & Helal, D. (2021). Determinants of under-five mortality: A comparative study of Egypt and Kenya. *Open Access Library Journal*, 8: 1–23. <https://doi.org/10.4236/oalib.1107889>
- Lee, R. D. (1974). Estimating series of vital rates and age structure from baptisms and burials: A new technique, with applications to pre-industrial England. *Population Studies*, 28(3): 495–512. <https://doi.org/10.1080/00324728.1974.10405195>
- Leeuwenn, M. H. D., & Oeppen, J. (1993). Reconstructing the demographic regime of Amsterdam 1681–1920. *Economic and Social History in the Netherlands*, 5: 61–102. https://www.academia.edu/2514500/Reconstructing_the_demographic_regime_of_Amsterdam_1681_1920
- McCaa, R., & Barbi, E. (2004). Inverse projection: Fine-tuning and expanding the method. In *The Craft of Socio-Demographic Research* (27–48). https://doi.org/10.1007/978-3-662-08016-0_2.
- Oeppen, J. (1993). Generalized inverse projection. In D. S. Reher & R. Schofield (Eds.), *Old and new methods in historical demography* (pp. 29–39). Oxford: Clarendon Press.
- Preston, S. H., Heuveline, P., & Guillot, M. (2001). *Demography: Measuring and modeling population processes*. Blackwell Publishers. ISBN 978-1557864512
- Raymer, J., Wiśniowski, A., Forster, J. J., Smith, P. W. F., & Bijak, J. (2013). Integrated modeling of European migration. *Journal of the American Statistical Association*, 108(503): 801–819. <https://doi.org/10.1080/01621459.2013.789435>

- Sawyer, C. C. (2012). Child mortality estimation: Estimating sex differences in childhood mortality since the 1970s. *PLoS Medicine*, 9(8), e1001287. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001287>
- Schoumaker, B. (2006). The reconstruction of fertility trends with DHS birth histories: Application of Poisson regression to person-period data. *European Population Conference 2006 – Session 901 – Data and Methods*. <https://epc2006.eaps.nl/papers/60265>
- Spoorenberg, T. (2015). Reconstructing historical fertility change in Mongolia: Impressive fertility rise before continued fertility decline. *Demographic Research*, 33, Article 29, 841–870. <https://doi.org/10.4054/DemRes.2015.33.29>
- United Nations. (2022). *World population prospects: The 2022 revision*. Department of Economic and Social Affairs. <https://population.un.org/wpp/>
- United Nations Population Fund (UNFPA). (2010). *UNFPA guidance note on sex selection*. http://www.unfpa.org/webdav/site/global/shared/documents/publications/2010/guidenote_pr_enatal_sexselection.pdf
- Voutilainen, M., Helske, J., & Högmander, H. (2020). A Bayesian reconstruction of a historical population in Finland, 1647–1850. *Demography*, 57: 1171–1192. <https://doi.org/10.1007/s13524-020-00889-1>
- Wheldon, M. C., Raftery, A. E., Clark, S. J., & Gerland, P. (2013). Reconstructing past populations with uncertainty from fragmentary data. *Journal of the American Statistical Association*, 108(501): 96–110. <https://doi.org/10.1080/01621459.2012.737729>
- Wheldon, M. C., Raftery, A. E., Clark, S. J., & Gerland, P. (2015). Bayesian reconstruction of two-sex populations by age: Estimating sex ratios at birth and sex ratios of mortality. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)*, 178(4): 977–1007. <https://doi.org/10.1111/rssa.12104>
- World Bank. (2024). *Age dependency ratio (% of working-age population) – Egypt*. Retrieved June 2, 2025, from <https://www.indexmundi.com/facts/egypt/age-dependency-ratio>.
- Wrigley, E. A., & Schofield, R. S. (1981). *The Population History of England, 1541–1871: A reconstruction*. Edward Arnold. ISBN 9780521356886
- Wrigley, E. A., Davies, R., Oeppen, J., & Schofield, R. S. (1997). *English population history from family reconstitutions 1580–1837*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511660344>
- Yount, K. M. (2000). The effect of gender preference on contraceptive use and fertility in rural Egypt. *Studies in Family Planning*, 32(4): 332–345. <https://doi.org/10.1111/j.1728-4465.2000.00290.x>