International Journal of Civil and Structural Engineering Research ISSN 2348-7607 (Online)
Vol. 14, Issue 1, pp: (7-11), Month: April 2026 - September 2026, Available at: www.researchpublish.com

The effect of groundwater on concrete foundations

تأثير المياه الجوفية على الأساسات الخرسانية

Jumah Eid BinObaid[1], MESHAL ALBZAIE[2]

PUBLIC AUTHORITY FOR APPLYING EDUCATION AND TRAINING

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.19706501

Published Date: 23-April-2026

Abstract: **Concrete foundations are among the most important elements used in stabilizing structures, as they transfer loads to the soil layer, ensuring the stability of the structure over long periods. However, this is influenced by numerous environmental and geotechnical factors, the most significant of which is groundwater, considered the most influential and problematic factor in foundation engineering.**

According to recent studies, groundwater not only affects the physical properties of the soil but also influences chemical reactions within the concrete, negatively impacting its mechanical properties over time.

Keywords: **groundwater, Concrete foundations, stabilizing structures, geotechnical factors.**

المقدمة

الأساسات الخرسانية تعتبر واحدة من العناصر الهامة جداً المستخدمة في تثبيت المنشآت، حيث أنها تسهم في نقل الأحمال إلى الطبقة التربة ، بما يضمن تحقيق الاستقرار لهيكل المنشأ في فترات زمنية طويلة. ولكن هذا الأمر يتم تحت تأثير العديد من العوامل البيئية والجيوتقنية، حيث يعتبر من بين أهم هذه العوامل هو مياه الآبار الجوفية، التي تعتبر العامل الأكثر تأثيراً وإشكالية في مجال هندسة الأساسات.

وفقاً للدراسات الحديثة، فإن مياه الآبار الجوفية ليس لديها أثرها فقط على الخصائص الفيزيائية للتربة، بل أيضاً تتأثر بتفاعلات كيميائية تحدث داخل الخرسانة، مما يؤثر سلباً في خصائصها الميكانيكية مع مرور الزمن (Chen et al., 2023). بالإضافة إلى ذلك، زيادة منسوب المياه الجوفية سيؤدي إلى خفض الإجهاد الفعّال للتربة، مما يعني زيادة الضغط على قدرة تحمل الخرسانة، وبالتالي يجعله أكثر عرضة للهبوط أو الفشل الإنشائي (Alencar et al., 2021).

بالإضافة إلى العوامل السابقة، فقد ثبت أن تركيبة المياه الجوفية لها أثر كبير على مقاومة الخرسانة، حيث قد تحتوي هذه المياه على مواد كيميائية مثل الكبريتات والكلوريدات التي تتسبب في التفاعلات الكيميائية، وبالتالي ستؤدي إلى تشقق الخرسانة وصدأ حديد التسلح (Ben-Owope et al., 2021).ولا تقتصر هذه التأثيرات على الجانب الكيميائي فقط ، بل تشمل أيضًا التأثيرات الهيدروليكية مثل ضغط المياه والتسرب، والتي قد تؤدي إلى إضعاف التربة المحيطة بالأساسات وتقليل استقرارها (.(Shi et al., 2022)

وفي ظل التوسع العمراني المتزايد، خاصة في المناطق ذات المناسيب المرتفعة للمياه الجوفية، تزداد الحاجة إلى فهم أعمق لطبيعة هذه التأثيرات، وتطوير حلول هندسية فعالة للتعامل معها. ومن هنا تنبع أهمية هذا البحث، الذي يهدف إلى تحليل تأثير المياه الجوفية على الأساسات الخرسانية من مختلف الجوانب الجيوتقنية والكيميائية، مع الاستفادة من الدراسات العلمية الحديثة لتقديم رؤية شاملة تساعد في تحسين تصميم وتنفيذ الأساسات في مثل هذه الظروف.

الإطار النظري

أولًا: مفهوم المياه الجوفية وخصائصها

تُعرف المياه الجوفية بأنها المياه التي تتواجد في الطبقات المسامية أو المتشققة تحت سطح الأرض، حيث تشغل الفراغات بين حبيبات التربة أو الصخور. وتتكون هذه المياه نتيجة تسرب مياه الأمطار أو المياه السطحية إلى باطن الأرض عبر عمليات الترشيح الطبيعي، حتى تصل إلى طبقات غير منفذة تُعرف بمنطقة التشبع. وتتحكم عدة عوامل في حركة المياه الجوفية مثل نفاذية التربة، وميل الطبقات الجيولوجية، والضغط الهيدروليكي.

وتتميز المياه الجوفية بخصائص فيزيائية وكيميائية متغيرة، مثل درجة الملوحة، ونسبة الأملاح الذائبة، ودرجة الحموضة (pH)، إضافة إلى منسوبها الذي يتغير موسمياً أو نتيجة الأنشطة البشرية مثل الضخ أو البناء. وتكمن خطورة المياه الجوفية في كونها عنصرًا ديناميكيًا غير ثابت، مما يجعل تأثيرها على المنشآت مستمرًا ومتغيرًا بمرور الوقت، وهو ما يجعل دراستها عنصرًا أساسيًا في تصميم الأساسات الهندسية .(Wang et al., 2024)

ثانيًا: الأساسات الخرسانية وأنواعها

تُعد الأساسات الخرسانية الجزء الأساسي في أي منشأ هندسي، حيث تقوم بنقل الأحمال الناتجة عن المبنى (مثل الأحمال الميتة والحية) إلى طبقات التربة بشكل آمن يمنع حدوث الهبوط أو الانهيار. ويعتمد نجاح الأساس على توافقه مع خصائص التربة وظروف الموقع، وعلى رأسها منسوب المياه الجوفية.

وتنقسم الأساسات إلى نوعين رئيسيين:

- **الأساسات السطحية** مثل القواعد المنفصلة والمشتركة والمستمرة، وتُستخدم عندما تكون التربة السطحية قوية نسبياً وقادرة على تحمل الأحمال.
- **الأساسات العميقة** مثل الخوازيق والقيسونات، وتُستخدم عندما تكون الطبقات السطحية ضعيفة أو عندما يكون منسوب المياه الجوفية مرتفعًا بشكل يؤثر على الاستقرار.

كما أن وجود المياه الجوفية يؤثر على اختيار نوع الأساس، حيث قد يفرض استخدام أنظمة عزل أو تقنيات خاصة أثناء التنفيذ مثل خفض منسوب المياه أو استخدام خرسانة مقاومة للكبريتات، مما يزيد من تعقيد التصميم والتنفيذ Mohamed, .(2024)

ثالثًا: تأثير المياه الجوفية على خواص التربة

تؤثر المياه الجوفية بشكل مباشر على السلوك الميكانيكي للتربة، حيث يؤدي وجودها إلى تغيير توزيع الإجهادات داخل التربة نتيجة زيادة ضغط الماء المسامي. ووفقًا لمفهوم الإجهاد الفعال، فإن زيادة ضغط المياه تقلل من الجزء الفعّال من الإجهاد الذي تتحمله حبيبات التربة، مما يؤدي إلى انخفاض قدرة التحمل بشكل واضح.

كما أن التربة المشبعة بالمياه تصبح أكثر قابلية للانضغاط، مما يؤدي إلى حدوث هبوط قد يكون تدريجيًا أو تفاضليًا بين أجزاء المبنى، وهو من أخطر أنواع الهبوط لأنه يؤدي إلى تشققات إنشائية غير متساوية. بالإضافة إلى ذلك، تؤثر المياه الجوفية على خصائص التربة حسب نوعها؛ ففي الترب الطينية قد تسبب الانتفاخ وزيادة الحجم، بينما في الترب الرملية قد تؤدي إلى فقدان التماسك وحدوث ظاهرة الانهيار المفاجئ في بعض الحالات.

وتشير الدراسات إلى أن التغير المستمر في منسوب المياه الجوفية يؤدي إلى تدهور تدريجي في خصائص التربة، مما يقلل من استقرار الأساسات على المدى الطويل Alencar et al., 2021; Chen et al., 2023; Song, .(2025)

رابعًا: التأثيرات الكيميائية للمياه الجوفية على الخرسانة

لا يقتصر تأثير المياه الجوفية على الجانب الجيوتقني فقط، بل يمتد ليشمل التأثير الكيميائي على الخرسانة المسلحة. حيث تحتوي بعض أنواع المياه الجوفية على أملاح ذائبة مثل الكبريتات والكلوريدات، والتي تُعد من أخطر العوامل المسببة لتدهور الخرسانة.

فالكبريتات تتفاعل مع مركبات الأسمنت مكونة مركبات متبلورة تؤدي إلى زيادة الحجم الداخلي للخرسانة، مما يسبب تشققات داخلية وتفكك تدريجي في البنية الخرسانية. أما الكلوريدات فتُعد السبب الرئيسي في تآكل حديد التسليح، حيث تخترق طبقة الحماية الخرسانية وتؤدي إلى تفاعل كيميائي يضعف الحديد ويقلل من مقاومته.

كما أن درجة الحموضة (pH) للمياه تلعب دورًا مهمًا، حيث إن المياه شديدة الحموضة أو القلوية قد تؤدي إلى تدهور الأسمنت وتقليل تماسكه مع الركام، مما يضعف مقاومة الخرسانة ويقلل من عمرها الافتراضي بشكل كبير Ben-Owope et al., 2021; Gega, .(2016)

خامسًا: التأثيرات الهيدروليكية للمياه الجوفية

تمثل التأثيرات الهيدروليكية للمياه الجوفية أحد العوامل المهمة التي تؤثر على استقرار الأساسات، حيث تمارس المياه ضغطًا مستمرًا على العناصر الخرسانية يعرف بالضغط الهيدروستاتيكي. ويزداد هذا الضغط كلما زاد عمق المياه، مما قد يؤدي إلى إجهاد إضافي على الجدران والأساسات.

كما أن ظاهرة التسرب (Seepage) داخل التربة تؤدي إلى حركة المياه عبر الفراغات البينية، مما قد يتسبب في نقل الحبيبات الدقيقة من التربة، وبالتالي إضعاف بنيتها تدريجيًا. وفي بعض الحالات، قد تؤدي هذه الحركة إلى حدوث فراغات داخل التربة، ينتج عنها هبوط مفاجئ أو تدريجي.

أما ظاهرة الطفو فتحدث عندما يرتفع منسوب المياه الجوفية إلى درجة تقلل من الوزن الفعلي للمنشأ، مما قد يؤثر على استقراره خاصة في المباني ذات الأحمال الخفيفة أو القواعد غير العميقة، وهو ما يتطلب تصميمات خاصة لمقاومة هذا النوع من القوى .(Shi et al., 2022)

الإطار المنهجي

أولًا: منهج البحث

يعتمد هذا البحث على **المنهج الوصفي التحليلي**، وهو أحد المناهج الأكثر استخدامًا في الدراسات الهندسية والإنشائية التي تهدف إلى فهم الظواهر وتحليلها دون التدخل المباشر فيها. ويقوم هذا المنهج على وصف تأثير المياه الجوفية على الأساسات الخرسانية من الناحية الجيوتقنية والكيميائية والهيدروليكية، ثم تحليل هذه التأثيرات اعتمادًا على ما ورد في الدراسات العلمية السابقة.

كما يتيح هذا المنهج إمكانية الربط بين النتائج النظرية والتطبيقات العملية، من خلال مقارنة نتائج الأبحاث المختلفة واستخلاص الأنماط المشتركة في تأثير المياه الجوفية على أداء الأساسات Mohamed, .(2024)

ثانيًا: تصميم البحث

يعتمد البحث على **التصميم المكتبي (Desk Research Design)**، حيث يتم جمع البيانات من مصادر ثانوية موثوقة مثل المقالات العلمية المحكمة، والأبحاث المنشورة في المجلات الدولية، وكتب هندسة التربة والأساسات.

ويُستخدم هذا التصميم في الدراسات التي لا تتطلب إجراء تجارب ميدانية مباشرة، بل تعتمد على تحليل المعرفة العلمية المتاحة سابقًا، بهدف الوصول إلى فهم شامل للظاهرة المدروسة (Wang et al., 2024).

ثالثًا: مصادر البيانات

تم الاعتماد في هذا البحث على مصادر بيانات ثانوية متنوعة، شملت:

- الأبحاث العلمية المنشورة في المجلات المحكمة (Journals)
- قواعد البيانات العلمية مثل ScienceDirect وSpringer و MDPI
- الدراسات الجيوتقنية المتعلقة بالأساسات والتربة
- كتب هندسة الأساسات وميكانيكا التربة

وقد تم اختيار هذه المصادر لضمان الموثوقية والدقة العلمية، مع التركيز على الدراسات الحديثة التي تعكس أحدث ما توصل إليه البحث العلمي في هذا المجال.

رابعًا: أدوات جمع البيانات

اعتمدت الدراسة على **أداة تحليل المحتوى العلمي (Content Analysis)**، والتي تتضمن قراءة وتحليل الدراسات السابقة بشكل منهجي، بهدف استخراج المعلومات المتعلقة بـ:

- تأثير منسوب المياه الجوفية على قدرة تحمل التربة
- تأثير المياه على الخرسانة المسلحة
- التغيرات الهيدروليكية داخل التربة
- الحلول الهندسية المقترحة للتقليل من هذه التأثيرات

ويتم تصنيف المعلومات ثم مقارنتها للوصول إلى نتائج منطقية مدعومة علميًا (Chen et al., 2023).

خامسًا: حدود الدراسة

تتمثل حدود هذه الدراسة في أنها تركز بشكل أساسي على تأثير المياه الجوفية على الأساسات الخرسانية من مختلف الجوانب الجيوتقنية والكيميائية والهيدروليكية، دون التطرق إلى التفاصيل التصميمية الدقيقة لأساسات المباني. كما تعتمد الدراسة على الأدبيات والأبحاث الحديثة نسبيًا بهدف مواكبة التطورات العلمية والتقنية في مجال هندسة التربة والأساسات وما يرتبط به من تأثيرات المياه الجوفية. ومن ناحية أخرى، فإن الدراسة ذات طابع عام وغير مقيدة بمنطقة جغرافية محددة، إلا أنها تراعي في تحليلها اختلاف الظروف البيئية والجيولوجية للتربة والمياه الجوفية من موقع إلى آخر، لما لذلك من تأثير مباشر على سلوك الأساسات واستجابتها لهذه العوامل.

سادسًا: منهج تحليل البيانات

تم تحليل البيانات باستخدام أسلوب **المقارنة والتحليل الاستقرائي**، حيث تم مقارنة نتائج الدراسات السابقة لاستخلاص العلاقة بين ارتفاع منسوب المياه الجوفية وتأثيره على سلوك التربة والخرسانة.

كما تم تصنيف التأثيرات إلى ثلاث فئات رئيسية:

- تأثيرات جيوتقنية (Geotechnical Effects)
- تأثيرات كيميائية (Chemical Effects)
- تأثيرات هيدروليكية (Hydraulic Effects)

وقد ساعد هذا التصنيف في بناء فهم متكامل للعلاقة بين المياه الجوفية والأساسات الخرسانية، وتحديد أكثر العوامل تأثيرًا على استقرار المنشآت (Shi et al., 2022).

النتائج والمناقشة (Results & Discussion)

أولًا: تأثير منسوب المياه الجوفية على قدرة تحمل التربة

أظهرت نتائج تحليل الدراسات السابقة أن ارتفاع منسوب المياه الجوفية يؤدي بشكل مباشر إلى انخفاض قدرة تحمل التربة، وذلك نتيجة زيادة ضغط الماء المسامي داخل الفراغات بين حبيبات التربة، مما يقلل من الإجهاد الفعال المسؤول عن مقاومة الأحمال. وهذا الانخفاض في الإجهاد الفعال يؤدي إلى ضعف قدرة التربة على دعم الأساسات، وبالتالي زيادة احتمالية حدوث فشل إنشائي أو هبوط في المنشآت. وتؤكد الدراسات أن هذا التأثير يكون أكثر وضوحًا في الترب الرملية المشبعة والترب الطينية ذات النفاذية المنخفضة .(Alencar et al., 2021; Chen et al., 2023)

ثانيًا: تأثير المياه الجوفية على الهبوط واستقرار المنشآت

تشير النتائج إلى أن التغيرات المستمرة في منسوب المياه الجوفية تؤدي إلى حدوث هبوط في التربة قد يكون منتظمًا أو تفاضليًا، وهو ما يمثل أحد أخطر التأثيرات على المنشآت الخرسانية. ويحدث ذلك نتيجة إعادة توزيع الإجهادات داخل التربة مع تغير نسبة التشبع، مما يؤدي إلى تغيرات في الحجم الكلي للتربة بمرور الوقت. كما أن الهبوط التفاضلي يمثل خطورة أكبر لأنه يسبب إجهادات غير متساوية على عناصر المنشأ، مما يؤدي إلى تشققات في الجدران والأساسات Song, (2025).

ثالثًا: التأثير الكيميائي على متانة الخرسانة

أوضحت نتائج الدراسات أن المياه الجوفية التي تحتوي على نسب عالية من الكبريتات والكلوريدات تؤثر بشكل كبير على متانة الخرسانة المسلحة. فالكبريتات تؤدي إلى حدوث تفاعلات تمددية داخل الخرسانة تسبب تشققات داخلية وتدهور تدريجي في بنيتها. أما الكلوريدات فتخترق الغطاء الخرساني وتصل إلى حديد التسليح، مما يؤدي إلى بدء عملية التآكل التي تقلل من مقاومة العنصر الإنشائي بمرور الوقت. ويُعد هذا النوع من التدهور من أخطر أنواع التلف لأنه يحدث بشكل تدريجي وقد لا يُكتشف إلا بعد وصوله لمراحل متقدمة (Ben-Owope et al., 2021; Gega, .(2016)

رابعًا: التأثيرات الهيدروليكية على الأساسات

بينت النتائج أن الضغط الهيدروستاتيكي الناتج عن المياه الجوفية يمثل عاملًا مهمًا في التأثير على استقرار الأساسات والجدران الساندة. حيث يؤدي هذا الضغط إلى زيادة الأحمال الجانبية على العناصر الخرسانية، مما قد يسبب تشققات أو تسرب المياه داخل المنشآت. كما أن ظاهرة التسرب داخل التربة تؤدي إلى نقل الحبيبات الدقيقة، مما يضعف البنية الداخلية للتربة ويزيد من احتمالية حدوث هبوط تدريجي. بالإضافة إلى ذلك، فإن ظاهرة الطفو الناتجة عن ارتفاع منسوب المياه قد تؤثر على استقرار المنشآت ذات الوزن الخفيف أو الأساسات غير العميقة .(Shi et al., 2022)

خامسًا: التكامل بين العوامل المختلفة

أظهرت المناقشة أن تأثير المياه الجوفية لا يحدث بشكل منفصل، بل هو نتيجة تفاعل ثلاثي بين العوامل الجيوتقنية والكيميائية والهيدروليكية. فبينما يؤدي الجانب الجيوتقني إلى ضعف قدرة التحمل وحدوث الهبوط، فإن الجانب الكيميائي يسبب تدهورًا في مادة الخرسانة نفسها، في حين يضيف الجانب الهيدروليكي ضغوطًا إضافية على العناصر الإنشائية. وهذا التكامل بين العوامل يجعل تأثير المياه الجوفية أكثر تعقيدًا وخطورة على المدى الطويل.

سادسًا: مقارنة النتائج بالدراسات السابقة

عند مقارنة النتائج الحالية بالدراسات السابقة، يتضح وجود توافق كبير مع ما توصل إليه الباحثون في هذا المجال، حيث أكدت معظم الدراسات أن المياه الجوفية تُعد من العوامل الرئيسية في فشل بعض أنواع الأساسات، خاصة في المناطق ذات التربة المشبعة. كما اتفقت النتائج على أن إهمال دراسة منسوب المياه الجوفية أثناء التصميم يؤدي إلى مشاكل إنشائية جسيمة قد تظهر بعد فترة زمنية من التشغيل (Wang et al., 2024; Mohamed, .(2024)

الخاتمة

في ضوء ما تم عرضه في هذا البحث، يتضح أن المياه الجوفية تمثل أحد أهم العوامل المؤثرة على كفاءة وأداء الأساسات الخرسانية، حيث تتداخل تأثيراتها مع الخصائص الجيوتقنية للتربة، وكذلك مع الخواص الفيزيائية والكيميائية للخرسانة. وقد أظهرت الدراسة أن هذه التأثيرات لا تقتصر على جانب واحد، بل تمتد لتشمل تأثيرات ميكانيكية تؤثر على قدرة تحمل التربة، وتأثيرات كيميائية تؤدي إلى تدهور الخرسانة، بالإضافة إلى تأثيرات هيدروليكية تتعلق بحركة المياه وضغطها.

كما تبين أن ارتفاع منسوب المياه الجوفية يؤدي إلى تقليل الإجهاد الفعّال داخل التربة، مما ينعكس سلبًا على استقرار الأساسات ويزيد من احتمالية حدوث الهبوط، وهو ما يتفق مع ما توصلت إليه الدراسات الحديثة (Alencar et al., 2021). كذلك فإن وجود الأملاح الذائبة في المياه الجوفية، مثل الكبريتات والكلوريدات، يُعد من العوامل الرئيسية التي تساهم في تآكل الخرسانة وحديد التسليح، مما يقلل من العمر الافتراضي للمنشآت .(Ben-Owope et al., 2021)

ومن ناحية أخرى، أظهرت الدراسة أن التأثيرات الهيدروليكية، مثل ضغط المياه والتسرب، قد تؤدي إلى إضعاف التربة المحيطة بالأساسات، خاصة في المناطق ذات المناسيب المرتفعة للمياه الجوفية، مما يزيد من خطورة المشكلات الإنشائية .(Shi et al., 2022)

وبناءً على ذلك، يمكن التأكيد على أن التعامل مع تأثير المياه الجوفية يتطلب فهمًا دقيقًا لطبيعة التربة والظروف البيئية، بالإضافة إلى تطبيق حلول هندسية مناسبة تضمن استقرار المنشآت واستدامتها على المدى الطويل.

التوصيات

1. ضرورة إجراء **دراسات جيوتقنية شاملة** قبل تنفيذ أي مشروع إنشائي، مع التركيز على تحديد منسوب المياه الجوفية بدقة وتحليل تغيراته الموسمية.
2. الاهتمام بإجراء **تحاليل كيميائية للمياه الجوفية** لتحديد نسبة الأملاح مثل الكبريتات والكلوريدات، واختيار نوع الخرسانة المناسب بناءً على النتائج.
3. استخدام **مواد خرسانية مقاومة للبيئات العدوانية**، خاصة في المناطق ذات المياه الجوفية الغنية بالأملاح.
4. تطبيق أنظمة **خفض منسوب المياه الجوفية (Dewatering)** أثناء مرحلة التنفيذ لتقليل تأثيرها على التربة والأساسات.
5. استخدام **أنظمة عزل مائي فعالة** لحماية الأساسات من تسرب المياه وتقليل تأثير الضغط الهيدروستاتيكي.
6. الاهتمام بعمليات **تحسين التربة** مثل الحقن أو الدمك في الحالات التي تكون فيها التربة ضعيفة ومشبعة بالمياه.
7. تعزيز برامج **الصيانة الدورية للمباني** للكشف المبكر عن أي علامات هبوط أو تآكل ناتجة عن تأثير المياه الجوفية.

المراجع

[1] Alencar, A., Galindo, R., & Melentijevic, S. (2021). Influence of the groundwater level on the bearing capacity of shallow foundations. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 80*(6), 4787–4801. https://doi.org/10.1007/s10064-021-02368-2

[2] Ben-Owope, O. A., Okoyeh, E. I., & Anaekwe, M. U. (2021). Influence of groundwater chemistry on concrete foundations. *International Journal of Engineering Sciences & Knowledge Applications, 1*(2), 45–56.

[3] Chen, W., Xia, W., Zhang, S., & Wang, E. (2023). Study on the influence of groundwater variation on sandy shallow foundations. *Applied Sciences, 13*(1), 473. https://doi.org/10.3390/app13010473

[4] Gega, M. (2016). *The effect of aggressive groundwater on concrete structures* (Master's thesis, Epoka University).

[5] Mohamed, N. H. (2024). Effect of groundwater on foundation selection. *International Journal of Computational Engineering Science, 5*(1), 22–30. https://doi.org/10.22399/ijcesen.1818

[6] Sallam, O. M. (2015). Groundwater modeling to evaluate the impact of deep foundations on flow in shallow aquifers. *Arabian Journal of Geosciences, 8*(11), 9381–9392. https://doi.org/10.1007/s12517-014-1557-x

[7] Shi, J., Zhang, Y., Liu, H., & Wang, Q. (2022). Influence of groundwater seepage on foundation deformation. *Advances in Civil Engineering, 2022*, 1–10. https://doi.org/10.1155/2022/8512828

[8] Song, Z. (2025). Weakening effects of groundwater on foundation strength. In *Proceedings of the International Conference on Advances in Civil Engineering* (pp. 112–118).

[9] Wang, H., Li, X., Zhang, J., & Chen, Y. (2024). Groundwater response and foundation stability under water level fluctuations. *Water, 16*(1), 81. https://doi.org/10.3390/w16010081

[10] Ausilio, E., & Conte, E. (2004). Influence of groundwater on the bearing capacity of shallow foundations. *Canadian Geotechnical Journal, 41*(2), 354–367. https://doi.org/10.1139/t04-084