

تقييم كفاءة سد الموصل من ناحية التسرب

م.م. عبد الغني عبو حسن
مركز بحوث السدود والموارد المائية
جامعة الموصل

أ.م.د. رعد هوبي إرزوقي
قسم الهندسة المدنية
كلية الهندسة - جامعة تكريت

الخلاصة

يهدف البحث الحالي إلى دراسة كفاءة وأداء إملاتيات وأساس سد الموصل من ناحية التسرب بالاعتماد على القياسات والقراءات الحقلية المأخوذة من موقع السد للأعوام 2003 و 2004 و 1990 والتي شملت قراءات التصاريف والتحاليل الكيميائية للمياه المتسربة من ثلاث نقاط في مؤخر الجانب الأيسر من السد والتحاليل الكيميائية لمياه البحيرة. بالإضافة إلى ذلك تم الاعتماد على قراءة مناسب المياه الجوفية لبيزومتزات نفق التحشية والبيزومتزات المفتوحة في مؤخر الجانب الأيمن من السد. علماً إن جميع القراءات الحقلية تم أخذها مع كل منسوب من مناسب بحيرة السد. بينت النتائج إن إملاتيات السد ذات كفاءة جيدة من ناحية التسرب، أما أساس السد والمتمثل بستارة التحشية فان كفاءته جيدة في أغلب المناطق ماعدا المنطقة المحصورة ما بين المقطع 68 و 70 حيث كانت كفاءة الستارة في هذه المنطقة بمقدار (19.5%) و (23.07%) و (25.55%) للأعوام 2004 و 2003 و 1990 على التوالي. كما بينت النتائج إن بعض مناطق أساس السد، مثل المقطع (79)، كانت ذات كفاءة دون المستوى المطلوب في العام 1990 حيث كانت بمقدار (45.97%) ولكن نتيجة للتحشية المستمرة والمكثفة ازدادت وتحسنت كفاءة هذا المقطع لتصبح بمقدار (73.74%) و (73.00%) في العامين 2003 و 2004 على التوالي.

الكلمات الرئيسية: سد الموصل، السدود الترابية، التسرب، كفاءة ستارة التحشية، المحتوى الكيميائي

1. المقدمة

السدود الترابية (earth dams) هي أحد أنواع السدود الشائعة الاستعمال في دول العالم والتي تعتمد في إنشائها على الأملايات الترابية التي تشكل الجزء الأكبر من جسم السد، وعليه فان هذا النوع من السدود سيكون معرض إلى تسرب أو رشح المياه (water seepage) خلال املاياته الترابية أو أساسه بالإضافة إلى التسرب من الجانبين. تُعد عملية السيطرة على التسرب خلال أجزاء السد الترابي ضرورية جداً وذلك لتجنب حصول عدم الاستقرار لميل جسم السد في منطقة المؤخر وكذلك لتجنب حصول عملية الانجراف الداخلي (piping) خلال الأملايات الترابية أو الأساس. لذا من الضروري أن تتم عملية مراقبة مستمرة للتسرب طول فترة عمر السد وذلك عن طريق حساب تصريف المياه المتسربة

من جسم السد وكذلك حساب تصريف الينابيع التي قد تظهر في منطقة المؤخر مع كل منسوب من مناسب خزان السد وخلال فترات منتظمة ومن ثم مقارنة هذا التصريف مع القيم التصميمية المسموح بها (permissible design values)، هذا بالإضافة إلى إجراء التحاليل الكيميائية للمياه المتسربة ودراسة هذه التحاليل ومقارنتها مع التحاليل الكيميائية لمياه بحيرة السد ومياه النهر في منطقة المؤخر.

تتناسب عادة كمية الرشح أو التسرب من الينابيع وفي المبالز طردياً مع منسوب الماء في الخزان، وإن أي تغير مفاجيء في كمية الرشح دون سبب واضح (مثل تغير منسوب الخزان أو المطر الغزير) يعني إن هنالك مشكلة، كما وإن العكرة في مياه الرشح وتلونها وزيادة محتواها من المواد العالقة أو المواد الكيميائية الذائبة، كلها دلائل يجب أن تؤخذ محمل الجد لأنها دلائل لظهور مشكلة التسرب في السد [1]. إن أي زيادة في كمية التسرب أو الرشح تعني أن عملية الانجراف الداخلي ممكنة الحصول، وفي حالة حصول تسرب كبير بعد الإملاء الأولي للخزان فإن الحسابات يجب أن تجرى مباشرة وخاصة للمواد العالقة والأملاح الذائبة في مياه التسرب. وقد حصلت عملية التسرب لمياه الخزان من جسم السد الترابي أو من أساسه أو من كليهما في العديد من السدود في دول العالم [2،3،4،5،6،7،8،9،10]، وفي هذه السدود استخدم الباحثون طرق مختلفة في تحليل أسباب التسرب من أجل وضع المعالجة المناسبة لإيقاف أو تقليل هذا التسرب. تعتبر الطرق الجيوفيزيائية أو استخدام البيزومتريات ومنظومة المبالز الخاصة بتصريف مياه التسرب الموجودة في موقع السد مع أجهزة التحسس الأخرى بالإضافة إلى التحاليل الكيميائية لمياه التسرب من الوسائل الشائعة الاستعمال للتعرف على أسباب التسرب التي تحصل خلال السدود الترابية. الباحثان (Kervin & Krishna) قدما ضمن بحثهما دراسة شاملة لكل الأدبيات التي تم نشرها ضمن موضوع النحر الداخلي [11]، أما الباحثان (Maria & Ake) فقد قدما دراسة عن استخدام عتبة أو طبقة مكونة من مادة خشنة على طول مؤخر السد وذلك لتحسين مقاومة السد ضد المشاكل الناجمة من التسرب [12].

تعد مشكلة التسرب من خزان سد الموصل الترابي من المشاكل المعروفة منذ بدء إنشاءه في المنطقة الشمالية من جمهورية العراق [8]، وقد تسببت هذه المشكلة بحدوث عملية غسل وانجراف للتربة في معظم مناطق التسرب مما استدعى القيام بعمليات تحشية مستمرة (grouting) لستارة التحشية (grouting curtain) في محاولة لسد الفراغات وتقليل التسرب. والبحث الحالي يهدف إلى دراسة كفاءة سد الموصل من ناحية التسرب (أي كفاءة لب السد (core) وكفاءة ستارة التحشية) بعد مرور أكثر من (20) عام على إنشاء السد حيث تم خلالها إجراء العديد من عمليات التحشية لهذا السد. سد الموصل هو سد ترابي تم إنشاءه على نهر دجلة في الجزء الشمالي من جمهورية العراق ضمن محافظة نينوى وبمسافة (60) كيلومتر شمال مدينة الموصل. الشكل (1) يوضح الخارطة الموقعية لهذا السد مع بعض ملحقاته.

يبلغ طول سد الموصل (3650) متر، ويبلغ امتداده إلى الجانب الأيسر حوالي (1500) متر أما الجانب الأيمن فيبلغ أكثر من (400) متر. يبلغ ارتفاع السد عند أعرق نقطة فيه بحدود (100) متر وان منسوب قمته يبلغ (343.2) متر فوق مستوى سطح البحر في حين يبلغ المنسوب التشغيلي للسد (330) متر والذي عنده تبلغ سعة الخزان (11.11) مليار متر مكعب، أما المنسوب الأعلى للفيضان فهو (338.4) متر والذي عنده يبلغ حجم الخزان (13.3) مليار متر مكعب. عرض قاعدة السد وقمته تساوي (800) متر و (10) متر على التوالي. تم تقسيم طول السد إلى مقاطع تبدأ بالمقطع (1) في الجانب الأيسر وتنتهي بالمقطع (111) في الجانب الأيمن، وان نفق (رواق) التحشيشة (الذي تم إنشائه على الجزء الرئيسي من جسم السد لتسهيل عملية مراقبة بيزومتري ستارة التحشيشة ولإنجاز أعمال التحشيشة) يبدأ بالمقطع (50) وينتهي بالمقطع (111)، أما المقطع (80) فيقع في منتصف مجرى النهر الرئيسي (لاحظ الشكل (1)).

يتكون مقطع سد الموصل من لب مركزي (central core)، ويتكون هذا اللب من تربة طينية ذات نفاذية قليلة جداً، أما الغلاف (shell) فيتكون من الحصى المخلوط مع الرمل بالإضافة إلى الرسوبيات المتكتلة (conglomerate deposits). استخدمت منظومة من طبقات الترشيح من أجل السيطرة على ضغط الفراغات (pore pressure) في منطقة المؤخر من السد، إضافة إلى ذلك استخدمت مواد مختلفة ذات أوزان عالية في مقدم السد وفي مؤخره وذلك لزيادة إستقراره علاوة على استخدام طبقة من الحجر المكسر (riprap) على الوجه الخارجي لمنطقة المقدم لتجنب المشاكل الناجمة عن الأمواج. أما أساس السد فقد تمت معالجته عن طريق استخدام تحشيشة البطانة (blanket grouting) في بعض مناطق السد وستارة التحشيشة العميقة (deep grouting curtain) في مناطق أخرى [13]، علماً انه تم استخدام بيزومتري في مقدم ومؤخر الستارة لبيان مدى كفاءتها في منع أو تقليل التسرب.

2. جيولوجية مشروع سد الموصل

ترتكز قاعدة سد الموصل على صخور تكوين الفارس ضمن قطاع الطيات الواطئة حسب تقسيمات بودي وجاسم (1984) [14]، حيث يضم هذا التكوين تتابع طبقي من صخور المتبخرات والتي تضم طبقات من الصخور الجبسية والكلسية تتخللها طبقات من صخور المارل. وبصورة عامة يغلب الطفل والجبس على التكوين العام، فالجانب الأيسر يتكون من طبقات متعددة من الطفل تعلوها المدملكات والتي هي عبارة عن تكوينات رسوبية رملية وطينية حديثة التكوين، أما حوض النهر فتتلاشى فيه الطبقات الجبسية وتظهر فيه طبقات رسوبية طباشيرية إضافة إلى طبقات خليطة من الطفل والطين

ويزداد الجبس باتجاه اليمين. الجانب الأيمن يتكون من طبقات جبسية رسوبية طباشيرية بالإضافة إلى وجود الكهوف والفوالق بشكل ملحوظ.

3. البيانات والقراءات المرصودة والمعتمدة:

للتعرف على كفاءة سد الموصل من ناحية التسرب تم رصد مجموعة من البيانات والقراءات لسنوات مختلفة والتي استخدمت في هذا البحث من أجل تشخيص وتحديد المواقع التي قد يحدث فيها التسرب سواء من خلال جسم السد عن طريق اللب المركزي أو من تحت قاعدته عن طريق ستارة التحشية، وهذه البيانات والقراءات هي:

1- تصاريف الرشح لبعض مواقع الينابيع الموجودة في منطقة المؤخر وهذه المواقع هي النقطة رقم (1) والنقطة رقم (3) ونقطة مدخل رواق التحشية (grouting gallery) (لاحظ الشكل (1)). الجدول رقم (1) يمثل القراءات لهذه التصاريف مع مناسيب الخزان المختلفة والتي رصدت في أوقات مختلفة من العام 2004[15].

2- التحاليل الكيميائية لمياه الرشح في مواقع الينابيع الثلاثة ومياه البحيرة ومياه النهر مؤخر السد. والجدول رقم (2) يمثل نتائج التحليل الكيميائي لهذه المياه مع المناسيب المختلفة للخزان والنهر وفي نفس الأوقات التي رصدت فيها التصاريف.

3- مناسيب المياه الجوفية عن طريق القراءات المأخوذة من بيزومتري رواق التحشية والبيزومتري المفتوحة في منطقة مؤخر السد، خاصة الجهة اليمنى منه، وعندما يكون منسوب البحيرة في أعلى مستوى له، فقد تم تسجيل قراءة بيزومتري رواق التحشية عند منسوب خزان مساوي إلى (327.58) متر، بتاريخ (2004/5/27)، والذي هو قريب من المنسوب التشغيلي للسد. إن القراءات الخاصة ببيزومتري رواق التحشية سيتم بواسطتها حساب كفاءة ستارة التحشية، وتحسب كفاءة ستارة التحشية من العلاقة التالية[1]:

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{قراءة بيزوميتر المقدم} - \text{قراءة بيزوميتر المؤخر}}{\text{منسوب الخزان} - \text{منسوب المؤخر}} \times 100\%$$

إن كفاءة ستارة التحشية للعام 2004 ستقارن مع الكفاءة للعام 2003 والعام 1990 لمعرفة مدى التغير الحاصل في هذه الستارة خلال هذه الفترة الزمنية. والجدول رقم (3) يمثل القراءات لبيزومتري رواق التحشية مع كفاءتها عند المقاطع المختلفة وعند أعلى منسوب للبحيرة في العام 2004، مع كفاءة ستارة التحشية في هذه المقاطع للعامين 2003 و1990[16] وعند نفس منسوب البحيرة تقريباً. أما

بالنسبة للبيزومتريات المفتوحة، الموجودة في الجهة اليمنى من منطقة المؤخر، فقد تم قراءة مناسيب المياه الجوفية لبعضها خلال أوقات مختلفة من العام 2004 والتي ستقارن مع القراءات المأخوذة في العام 1998 لمعرفة مدى التغير الحاصل فيها. **والجدول (4)** يمثل القراءات لهذه البيزومتريات في العامين 2004 و1998 وعند منسوب بحيرة مساوي إلى (322.5) متر.

4. مناقشة النتائج.

- النتائج الخاصة بقراءات التصريف لنقاط التسرب.

استناداً إلى النتائج الواردة في **الجدول رقم (1)**، فإن **الشكل (2)** يمثل العلاقة بين مقدار التصريف لنقاط التسرب الثلاثة (النقطة رقم (1) والنقطة رقم (3) ونقطة مدخل الرواق التحشية) مع منسوب بحيرة الخزان ولأوقات مختلفة من العام 2004. من هذا الشكل يتبين أن مقدار التصريف للتسرب من النقاط الثلاثة يزداد مع زيادة منسوب البحيرة ولكن بكميات مختلفة ما بين نقطة وأخرى. ففي النقطة رقم (1) يلاحظ إن مقدار التصريف يزداد مع زيادة منسوب البحيرة ليصبح في أعلى مقدار له (39.4) لتر/ثانية عند أعلى منسوب للبحيرة (329.04) متر، كذلك الحال بالنسبة لنقطة التسرب عند مدخل الرواق، ولكن بتصريف مختلفة، بحيث إن أعلى تصريف تم قياسه من هذه النقطة كان بمقدار (137.03) لتر/ثانية عند أعلى منسوب للبحيرة (329.04) متر. أما بالنسبة لنقطة التسرب رقم (3) فيلاحظ انه عند أعلى منسوب للبحيرة كان التصريف المتسرب من هذه النقطة بمقدار (257.31) لتر/ثانية، ويعد انخفاض سطح البحيرة إلى المنسوب (328.68) متر ازداد التصريف ليصبح في أعلى قيمة له (270.14) لتر/ثانية.

إن النتائج أعلاه تشير إلى إن الاستجابة في زيادة التصريف للنقطة رقم (1) ونقطة مدخل الرواق تكون مترامنة بشكل آني مع ارتفاع منسوب البحيرة، حيث يلاحظ إن التصريف يزداد مع ارتفاع منسوب البحيرة ويصبح في أعلى قيمة له عند أعلى منسوب للبحيرة. أما بالنسبة للنقطة رقم (3) فيلاحظ إن الزيادة والنقصان في تصريف المياه المتسربة لم تكن في حالة توافق آني مع مستوى سطح البحيرة وإنما تأتي هذه الزيادة أو النقصان في التصريف بعد فترة زمنية (خمسة عشر يوم تقريباً) من حصول الارتفاع والانخفاض في سطح البحيرة.

بناءً على ما جاء أعلاه يمكن الاستنتاج إن مصدر الماء المتسرب من النقطة رقم (3) ليست له علاقة مباشرة بمياه بحيرة الخزان وإنما هو عبارة عن مياه جوفية في منطقة المؤخر وهذه المياه تتسرب إلى السطح لكون منسوبها أعلى من منسوب الأرض الطبيعية في تلك المنطقة وإن التصريف لهذه المياه يزداد نتيجة زيادة مساحة التربة التي تتسرب منها هذه المياه بسبب ارتفاع منسوبها والتي تأتي بعد فترة زمنية من ارتفاع منسوب سطح البحيرة.

بالنسبة للتصريف من النقطة رقم (1) ونقطة مدخل الرواق فان النتائج تشير إلى إن مصدرها مباشر من مياه البحيرة وذلك لان الزيادة والنقصان في تصريف هذه النقاط مرتبط بشكل مباشر وآني مع ارتفاع وانخفاض منسوب البحيرة. وعليه فان نتائج قياس التصريف لنقاط التسرب تشير إلى إن هنالك مياه تتسرب بصورة مباشرة من بحيرة السد لتخرج على شكل ينابيع في كل من النقطة رقم (1) ونقطة مدخل الرواق. أما نتائج التصريف للنقطة رقم (3) فإنها تشير وبشكل أولي إلى إن مصدر المياه المتسربة من هذه النقطة هي عبارة عن مياه جوفية وان زيادة التصريف في هذه النقطة ناتج من ارتفاع منسوب البحيرة والذي يؤدي بدوره إلى زيادة الضاغط الذي يؤدي بدوره (بعد فترة زمنية) إلى رفع منسوب هذه المياه وبالتالي ستزداد المساحة السطحية للتسرب وهذا كله سيؤدي إلى زيادة التصريف. كذلك الحال يمكن ملاحظة العكس عند انخفاض منسوب البحيرة.

- النتائج الخاصة بالمحتوى الكيميائي للمياه من نقاط التسرب.

الشكل (3) يمثل النتائج الواردة في **الجدول رقم (2)** والذي يربط ما بين المحتوى الكيميائي للمياه المأخوذة من نقاط التسرب الثلاثة ومنسوب بحيرة الخزان والنهر لأوقات مختلفة من العام 2004. من هذا الشكل يمكن ملاحظة ما يأتي:

1- المحتوى الكيميائي للمياه المأخوذة من نقاط التسرب الثلاثة يزداد مع زيادة منسوب بحيرة خزان السد ولكن بنسب متفاوتة، حيث إن مقدار الزيادة في المحتوى الكيميائي كبير بالنسبة للنقطة رقم (3)، أما بالنسبة للنقطة رقم (1) ونقطة مدخل الرواق فان الزيادة نوعاً ما قليلة.

2- المعدل العام للمحتوى الكيميائي لمياه البحيرة والنهر هو بحدود (200) و(250) جزء بالمليون على التوالي.

3- المحتوى الكيميائي لنقطة التسرب رقم (1) ونقطة مدخل الرواق متقارب مع المحتوى الكيميائي للبحيرة وخاصة في مناسبتها القليلة، أما بالنسبة للمياه المأخوذة من النقطة رقم (3) فان محتواها الكيميائي اكبر بكثير من المحتوى الكيميائي للبحيرة.

إن الملاحظات أعلاه تؤكد ما تم استنتاجه سابقاً عن طريق قياس التصريف من نقاط التسرب الثلاثة، حيث إن تقارب المحتوى الكيميائي للمياه المأخوذة من نقطة التسرب رقم (1) ونقطة مدخل الرواق مع المحتوى الكيميائي لمياه البحيرة وخاصة عند مناسبتها القليلة تشير إلى إن المياه المتسربة من هاتين النقطتين هي عبارة عن مياه متسربة بشكل مباشر من بحيرة السد والتي تدلل على وجود خلل في ستارة التحشية في المناطق المقابلة لهما. وتشير الخرائط الخاصة بتصاميم سد الموصل إلى أن مقاطع ستارة التحشية المقابلة لهاتين النقطتين محصورة ما بين المقطع (60) والمقطع (70). أما فيما يخص النقطة رقم (3) فيلاحظ إن المحتوى الكيميائي للمياه المتسربة منها يزداد مع زيادة منسوب البحيرة بشكل

كبير وان مقدار الأملاح في هذه المياه أكبر بكثير مما هو عليه في مياه البحيرة بحيث تصل النسبة إلى حوالي سبع مرات ما بينهما عند أعلى منسوب للبحيرة. إن المحتوى الكيميائي للمياه المتسربة من هذه النقطة هو مقارب جدا" إلى المحتوى الكيميائي للمياه الجوفية في منطقة المؤخر، وهذا يدل أيضا" على إن المياه المتسربة من هذه النقطة هي عبارة عن المياه الجوفية الموجودة في منطقة المؤخر والتي تزداد وتقل سواء في كميتها أو في محتواها الكيميائي نتيجة زيادة أو نقصان الضاغط مايبين منسوب البحيرة ومنسوب هذه المياه.

- النتائج الخاصة بقراءة البيزومتريات.

- بيزومتريات رواق التحشيشية.

الشكل (4) يمثل النتائج الواردة في **الجدول رقم (3)** والذي يبين كفاءة ستارة التحشيشية للمنطقة المحصورة ما بين المقطعين (64) و (109) للعامين 2004 و 2003، وما بين المقطعين (68) و (94) للعام 1990 وعند منسوب ماء المقدم (البحيرة) للسنوات الثلاث أعلاه مساوي إلى (327.58) و (327.62) و (326.70) متر على التوالي، أما منسوب ماء المؤخر (النهر) فقد كان مساوي إلى (253.75) و (254.93) و (252.74) متر على التوالي. من الجدير بالذكر أن قراءات البيزومتريات للمقاطع (64-67) والمقاطع (95-109) لم يتم رصدها في العام 1990. من **الشكل (4)** يتبين إن كفاءة ستارة التحشيشية في حالة جيدة وفي تزايد وتحسن عند أغلب مناطق الجزء الرئيسي من سد الموصل ماعدا المنطقة المحصورة ما بين المقطعين (68) و (70)، حيث يلاحظ إن كفاءة ستارة التحشيشية عند هذه المنطقة كانت (19.5%) و (23.07%) و (25.55%) للأعوام 2004 و 2003 و 1990 على التوالي.

إن هذه النتائج تدلل وتؤكد على ما جاء سابقا" من انه هنالك خلل في ستارة التحشيشية للمنطقة المحصورة ما بين المقطعين (60) و (70)، بل إن نتائج حسابات كفاءة هذه الستارة أعطت دقة أكثر في تحديد منطقة الخلل، حيث انحسرت المنطقة ما بين المقطعين (68) و (70). إضافة إلى ذلك يلاحظ من الشكل أعلاه أن كفاءة ستارة التحشيشية في المقطع (79) كانت دون المستوى المطلوب في العام 1990، حيث كانت قيمتها (45.97%)، إلا إن هذه الستارة أصبحت بوضعية جيدة في العامين 2003 و 2004 حيث بلغت كفاءتها (73.74%) و (71%) على التوالي، وهذا يدل على كفاءة وجودة أعمال التحشيشية المستمرة والمعالجة التي أجريت على هذا المقطع وبعض المقاطع الأخرى.

- البيزومتريات المفتوحة في مؤخر الجانب الأيمن:

الشكل (5) يمثل النتائج الواردة في الجدول (4) والذي يمثل القراءات لبعض البيزومتريات المفتوحة الموجودة في مؤخر الجانب الأيمن من سد الموصل، (لاحظ الشكل (1))، ولأوقات مختلفة من العام 2004، بالإضافة إلى منسوب بحيرة الخزان خلال هذه الأوقات.

من الشكل أعلاه يتبين إن البيزومتريات جميعها تتصرف تصرفاً طبيعياً مع منسوب بحيرة السد ماعدا البيزوميتر (A_1)، حيث يلاحظ إن منسوب المياه في هذه البيزومتريات يتأثر بارتفاع أو انخفاض منسوب ماء البحيرة كما إن مناسيب المياه في هذه البيزومتريات هي ضمن الحدود المتوقعة والمقبولة للتصرف الطبيعي للسد. أما فيما يتعلق بالبيزوميتر (A_1) فيلاحظ انه يتصرف بشكل طبيعي عندما يكون منسوب البحيرة أقل من (315) متر، ولكن عندما يزداد منسوب البحيرة إلى أكثر من (315) متر فإن منسوب الماء في هذا البيزوميتر يزداد بشكل مفاجيء وكبير بحيث يصبح هذا المنسوب قريب من منسوب ماء البحيرة. أن ما جاء أعلاه لا يعني وجود مشكلة وإنما هو يعود وبشكل كبير إلى احتمالية وجود كسر في غلاف هذا البيزوميتر وفي المنطقة القريبة من المنسوب (315) متر، علماً إن القراءات لهذه البيزومتريات في العام 1998 كانت متقاربة مع القراءات للعام 2004 عند نفس المناسيب للبحيرة ومن ضمنها أيضاً" التصرف الغير طبيعي للبيزوميتر (A_1).

النتائج أعلاه تشير وبشكل عام إلى أن الجانب الأيمن من سد الموصل (سواء الاملائيات أو ستارة التحشية) ذو كفاءة جيدة من ناحية التسرب.

5. الاستنتاجات

استناداً إلى النتائج التي تم الحصول عليها من تحليل القياسات والقراءات الخاصة بسد الموصل والتي شملت تصاريح نقاط التسرب ومناسيب المياه الجوفية ومياه بحيرة السد والتحليلات الكيميائية يمكن استنتاج النقاط التالية الخاصة بكفاءة السد من ناحية التسرب:

1- املائيات السد الترابية واللب المركزي ذات كفاءة جيدة وان التسرب من خلالها ضمن القيم التصميمية المسموح بها.

2- أساس السد والمتمثل بستارة التحشية ذو كفاءة جيدة في أغلب مقاطع السد ماعدا المنطقة المحصورة ما بين المقطعين (68) و (70)، حيث إن كفاءة ستارة التحشية في هذه المنطقة دون المستوى المطلوب مما يؤثر إلى وجود تسرب لمياه البحيرة من خلالها والتي من المؤكد أن تكون السبب والمصدر الرئيسي للمياه المتسربة من النقطة رقم (1) ونقطة مدخل الرواق واللتان تقعان مقابل هذه المنطقة.

3- لم تؤثر أي ملاحظة على البيزومتريات المفتوحة الموجودة في مؤخر الجانب الأيمن يمكن أن تدل على وجود خلل في هذا الجانب من السد، سوى القراءات غير المنطقية للبيزوميتر (A₁) عندما يصبح منسوب بحيرة السد أعلى من (315) متر والتي تكون مقاربة لهذا المنسوب. وقد تم تعليق هذا التصرف إلى احتمالية كسر غلاف هذا البيزوميتر عند المستوى (315) متر والذي يؤدي بدوره إلى تسرب المياه من هذا الكسر إلى داخل البيزوميتر ليصبح منسوب الماء فيه مقارب إلى منسوب البحيرة.

6. المصادر

- [1] Salem, A. Kh., "Instrumentation and Dams Monitoring", Ministry of Irrigation , Al-Furat Center for Studies and Designs of Irrigation Structures, Iraq, 1993.
- [2] Haefli, Ch. and Glig, B., "Leakage Tracking at the Punt Dal Gall Reservoir ", ICOLD, 12th Congress, Q45, R33, Mexico, 1976.
- [3] Bernell, L., "Control of Leakage Through Dams, Foundation on Glacial Till Deposits", ICOLD, 12th Congress, Q45, R56, Mexico, 1976.
- [4] Salem , A. Kh., " Foundation Treatment Problems Encountered in the Construction of Haditha Dam ", ICOLD , 15th Congress, Q58 , R20, Lausanne, 1985.
- [5] Brauns, J. , Degen, F. P. and Armbruster, H., "The Leakage Problem with Thin Dam Seals", ICOLD, 16th Congress, Q61, R8, San Francisco, 1988.
- [6] Irzooki, R. H., "Investigation and Analysis of Seepage Problems on the Left Side of Al-Qadisiya Dam", Ph.D. thesis, Building and Construction Eng. Department, University of Technology, Iraq, 1998.
- [7] Salih, R. A., " Performance of the Right Side of Al-Qadisiya Dam", M.Sc. thesis, Civil Engineering Department, University of Tikrit, Iraq, 2000.
- [8] الصادق، عبد الغني عيو حسن، "مسارات حركة المياه الجوفية والتسرب حول الكتف الأيمن لسد الموصل"، مجلة هندسة الرافدين، جامعة الموصل، العراق، العدد (3)، المجلد (12)، 2004.
- [9] Byung Sik Chun, Yong Jae Lee and Ha Ik Chung, (2006), "Effectiveness of Leakage Control After Application of Permeation Grouting to Earth Fill Dam", KCSE Jornal of Civil Engineering, Vol. 10, No. 6, November, pp. 405-414.
- [10] P. Sjodahl, T. Dahlin, S. Johansson and M. H. Loke, (2008), "Resistivity monitoring for Leakage and Internal Erosion Detection at Hallby Embankment Dam", Journal of Applied Geophysics, Volume 65, Issues 3-4, 1 September, pp. 155-164.

- [11] Kevin S. Richards and Krishna R. Reddy, (2007), "Critical Appraisal of Piping Phenomena in Earth Dams", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 66, No. 4, pp. 381-402.
- [12] Maria Bartsch and Ake Nilsson, "Leakage in Embankment Dams – Functional Analysis and Strengthening by Adding a Downstream Berm", www.talsperrenkomitee.de/freising2007/pdf/03_Bartsch.pdf
- [13] محمد صالح البدراني، "مبادئ في التحشية" المنشأة العامة لسد الموصل، العراق، 1985.
- [14] الكواز، حازم أمين محمد، "دراسة التشققات والخسفات والانهيارات الأرضية في منطقة سد الموصل، توزيعها، مسبباتها وتطورها مع الزمن"، مركز بحوث سد الموصل، جامعة الموصل، العراق، 1990.
- [15] إدارة مشروع سد الموصل، "التقرير السنوي لسلامة سد الموصل"، وزارة الموارد المائية، المديرية العامة للسدود والخزانات، العراق، 2004.
- [16] إدارة مشروع سد الموصل، "التقرير السنوي لسلامة سد الموصل"، وزارة الري، الهيئة العامة للسدود والخزانات، العراق، 1990.

جدول (1): تصريف المياه من نقاط التسرب في مؤخر سد الموصل.

تصريف المياه المتسربة (لتر/ثانية)			منسوب النهر (متر)	منسوب البحيرة (متر)	التاريخ
نقطة مدخل الرواق	نقطة التسرب (3)	نقطة التسرب (1)			
62.04	---	21.56	252.58	314.60	2004/01/05
65.72	---	21.86	251.94	316.52	2004/01/22
72.34	---	22.09	252.85	316.14	2004/02/10
74.27	---	23.40	252.71	316.40	2004/02/28
74.27	---	23.71	253.26	319.15	2004/03/10
80.61	86.51	24.02	253.58	320.32	2004/03/20
90.30	104.80	25.93	253.47	320.56	2004/04/13
96.57	115.99	27.22	252.14	322.52	2004/04/29
109.53	153.55	30.55	253.31	325.53	2004/05/12
123.03	182.98	34.01	253.25	326.85	2004/05/20
137.03	257.31	39.05	252.64	329.04	2004/06/14
132.31	270.14	38.22	251.89	328.68	2004/06/29
132.31	265.84	37.95	254.55	327.87	2004/07/10
129.97	246.78	36.50	253.31	326.98	2004/07/20
120.74	186.78	31.92	253.28	324.69	2004/08/11
132.31	267.99	38.32	253.67	323.10	2004/08/23
126.48	228.20	33.66	253.02	325.84	2004/09/13
125.33	224.14	33.66	253.78	318.49	2004/09/25
94.45	86.51	22.47	251.76	316.35	2004/10/14
82.15	70.81	20.36	252.17	314.45	2004/10/30
75.24	57.47	18.04	252.17	313.07	2004/11/11
109.53	144.70	29.21	253.53	312.51	2004/12/03
101.90	117.62	26.57	253.17	311.82	2004/12/20

جدول (2): المحتوى الكيميائي للمياه المأخوذة من أماكن مختلفة في سد الموصل.

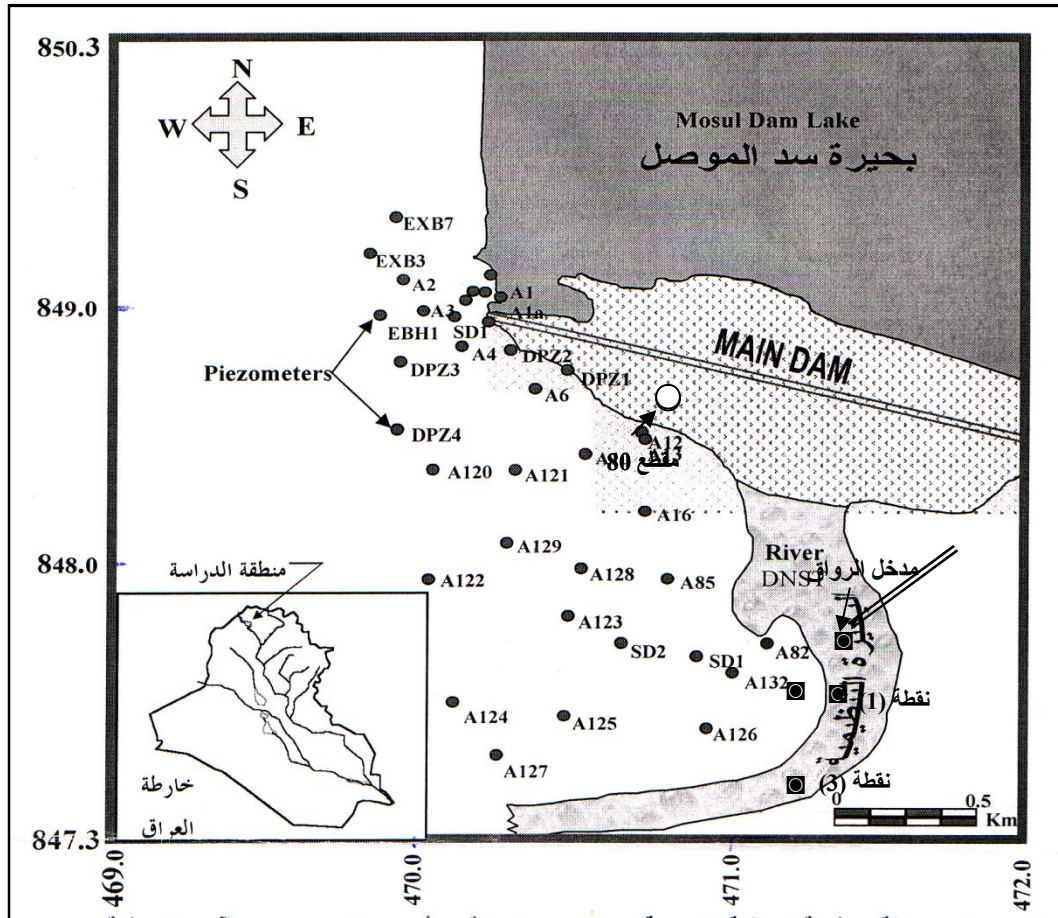
محتوى الأملاح الكلي للمياه (جزء بالمليون)					منسوب النهر (متر)	منسوب البحيرة (متر)	التاريخ
نقطة مدخل الرواق	نقطة التسرب (3)	نقطة التسرب (1)	النهر	بحيرة السد			
282	456	282	224	206	252.58	314.60	2004/01/05
268	408	296	220	188	251.94	316.52	2004/01/22
326	668	386	234	200	252.85	316.14	2004/02/10
376	594	332	274	220	252.71	316.40	2004/02/28
390	654	452	304	216	253.26	319.15	2004/03/10
310	616	446	238	224	253.58	320.32	2004/03/20
360	1220	630	278	220	253.47	320.56	2004/04/13
324	1142	562	222	210	252.14	322.52	2004/04/29
318	1314	556	222	214	253.31	325.53	2004/05/12
402	1374	678	272	196	253.25	326.85	2004/05/20
372	1358	550	270	188	252.64	329.04	2004/06/14
450	1400	560	248	188	251.89	328.68	2004/06/29
404	1354	588	236	184	254.55	327.87	2004/07/10
378	1416	624	254	202	253.31	326.98	2004/07/20
458	1256	668	308	200	253.28	324.69	2004/08/11
262	1156	512	256	198	253.67	323.10	2004/08/23
350	1268	616	262	198	253.02	325.84	2004/09/13
340	1144	662	234	184	253.78	318.49	2004/09/25
292	998	612	196	182	251.76	316.35	2004/10/14
380	888	528	280	208	252.17	314.45	2004/10/30
410	864	512	202	190	252.17	313.07	2004/11/11
348	736	424	280	220	253.53	312.51	2004/12/03
370	694	430	280	220	253.17	311.82	2004/12/20

جدول (3): كفاءة ستارة التحشية للجزء الرئيسي من سد الموصل.

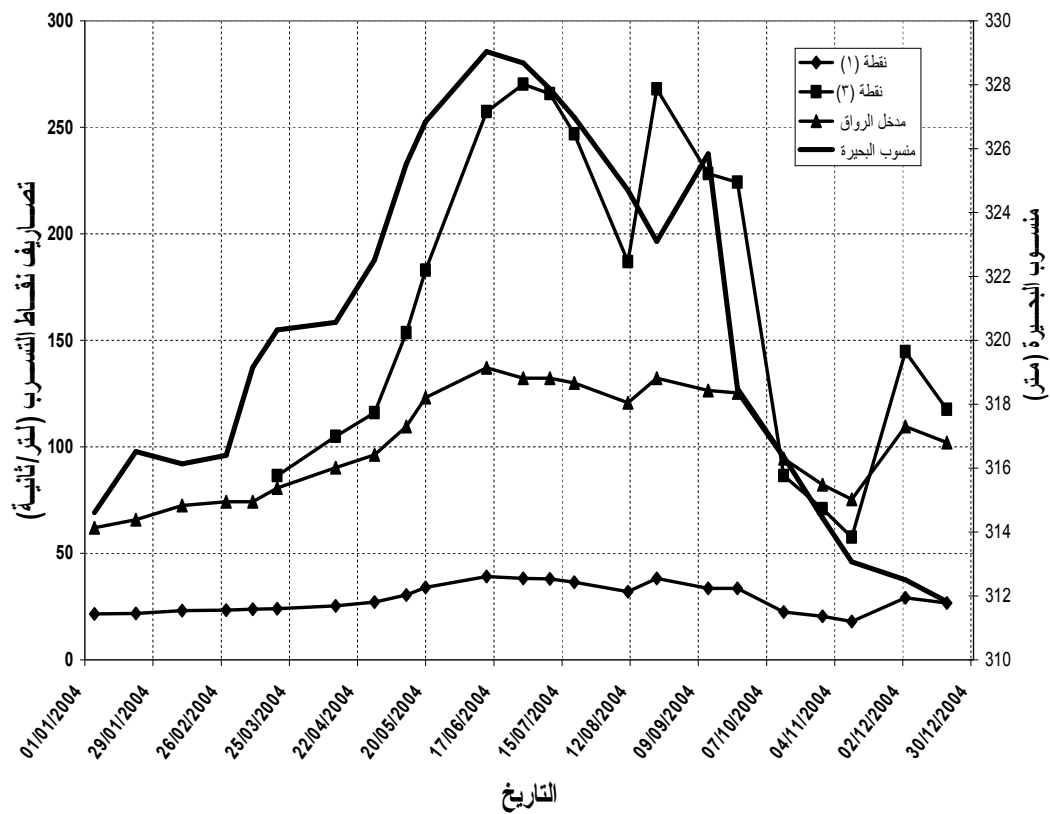
كفاءة ستارة التحشية %						قراءة بيزومتري رواق التحشية عام 2004		المقطع
1990		2003		2004		بيزومتري المؤخر	بيزومتري المقدم	
منسوب المؤخر م 2523.74	منسوب المقدم م 326.70	منسوب المؤخر م 254.93	منسوب المقدم م 327.62	منسوب المؤخر م 253.75	منسوب المقدم م 327.57			
---		69.83		69.1		273.10	324.10	64
---		61.48		62.2		269.40	315.30	65
---		84.39		83.6		256.40	318.10	66
---		---		55.3		266.50	307.30	67
41.64		47.93		47.4		274.60	309.60	68
48.40		59.50		53.8		284.20	323.90	69
25.55		23.07		19.5		308.40	322.80	70
80.31		96.31		93.5		255.90	324.90	71
67.60		86.59		84.7		260.10	322.60	72
56.38		61.22		71.7		263.70	316.60	73
56.38		61.15		58.6		272.80	316.10	74
56.65		67.09		65.0		258.00	306.00	75
51.51		90.43		91.3		258.00	325.40	76
51.11		94.18		89.0		258.60	324.30	77
70.31		72.88		72.1		265.30	318.50	78
45.97		73.74		71.1		257.60	310.10	79
83.96		92.89		90.2		258.10	324.70	80
54.62		88.09		86.6		260.00	323.90	81
81.12		76.93		84.2		263.40	325.60	82
61.92		70.96		68.4		259.90	310.40	83
64.76		85.82		85.3		262.50	325.50	84
---		70.96		61.6		261.70	307.20	85
67.33		83.89		82.6		262.00	323.00	86
49.89		77.78		78.2		263.20	320.90	87
48.80		56.17		77.2		260.50	317.50	88
93.43		60.19		62.7		263.80	310.10	89
70.17		87.78		88.0		259.40	324.40	90
53.81		89.83		86.0		260.60	324.10	91
81.94		82.56		86.4		260.70	324.50	92
78.42		90.89		91.4		258.90	326.40	93
74.45		83.86		85.2		264.30	327.20	94
---		83.78		80.9		265.30	325.00	95
---		84.25		85.7		263.40	326.70	96
---		84.29		84.8		262.10	324.70	97
---		61.10		64.5		274.90	322.50	98
---		76.15		83.0		261.40	322.70	100
---		77.89		78.6		267.40	325.40	101
---		72.99		72.1		272.40	325.60	103
---		83.83		81.3		263.70	323.70	104
---		83.20		83.2		263.80	325.20	105
---		74.71		74.1		270.10	324.80	107
---		84.19		83.3		265.50	327.00	108
---		82.04		81.5		264.50	324.70	109

جدول (4): مناسيب المياه الجوفية في البيزومتيرات المفتوحة للجهة اليمنى من مؤخر سد الموصل.

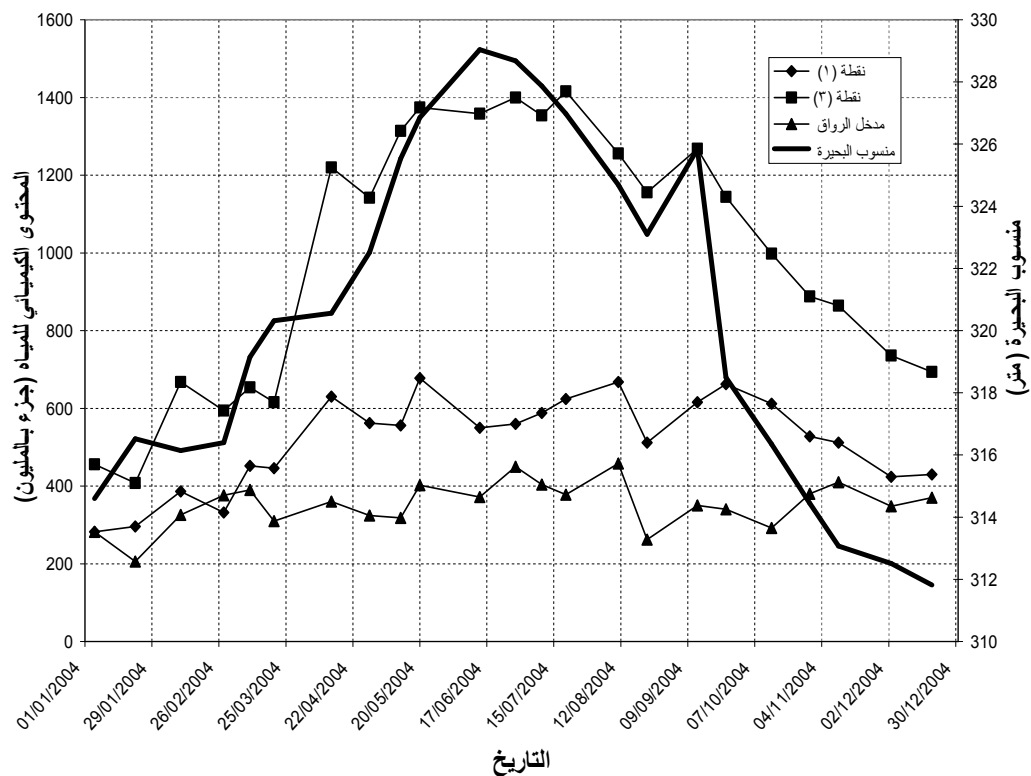
منسوب البحيرة (م)	منسوب الماء في البيزومتيرات (متر)								التاريخ
	A ₁₆	A ₁₁	A ₁₀	A ₆	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	
314.50	257.50	258.80	262.35	262.30	279.50	280.50	282.00	284.20	2004/01/03
316.30	257.50	258.60	262.40	262.50	279.56	280.57	282.05	284.40	2004/02/10
317.30	257.00	258.50	262.30	262.20	279.62	280.60	282.10	284.50	2004/03/06
320.40	258.00	259.80	263.10	263.00	279.70	280.65	282.20	305.00	2004/03/30
320.50	258.30	260.00	263.50	263.50	279.75	280.66	282.30	316.50	2004/04/12
323.50	258.30	260.10	263.60	263.60	279.80	280.68	282.55	321.50	2004/05/05
328.50	259.00	261.30	264.70	264.80	280.00	284.00	282.65	327.00	2004/06/01
328.30	259.50	261.40	265.00	265.10	280.10	284.20	284.00	327.50	2004/07/05
326.98	259.70	261.45	265.00	265.10	280.50	284.50	283.50	326.00	2004/07/19
325.00	259.50	261.00	264.90	265.00	280.70	283.80	283.50	324.00	2004/08/03
323.90	259.50	260.70	264.80	264.80	280.30	283.50	282.80	322.50	2004/08/18
322.00	259.30	260.50	264.70	264.50	280.50	282.80	282.50	320.50	2004/08/30
320.50	259.20	260.00	264.50	264.00	280.35	282.50	282.40	319.00	2004/09/11
317.00	258.50	259.80	263.50	263.50	280.40	282.30	282.40	296.00	2004/10/08
314.00	258.50	259.00	262.60	262.50	280.05	280.07	282.40	287.50	2004/11/02
312.70	258.00	258.90	262.00	262.00	280.00	280.10	282.40	285.00	2004/12/01
312.00	258.00	258.90	262.00	262.00	280.00	280.10	282.40	285.00	2004/12/11



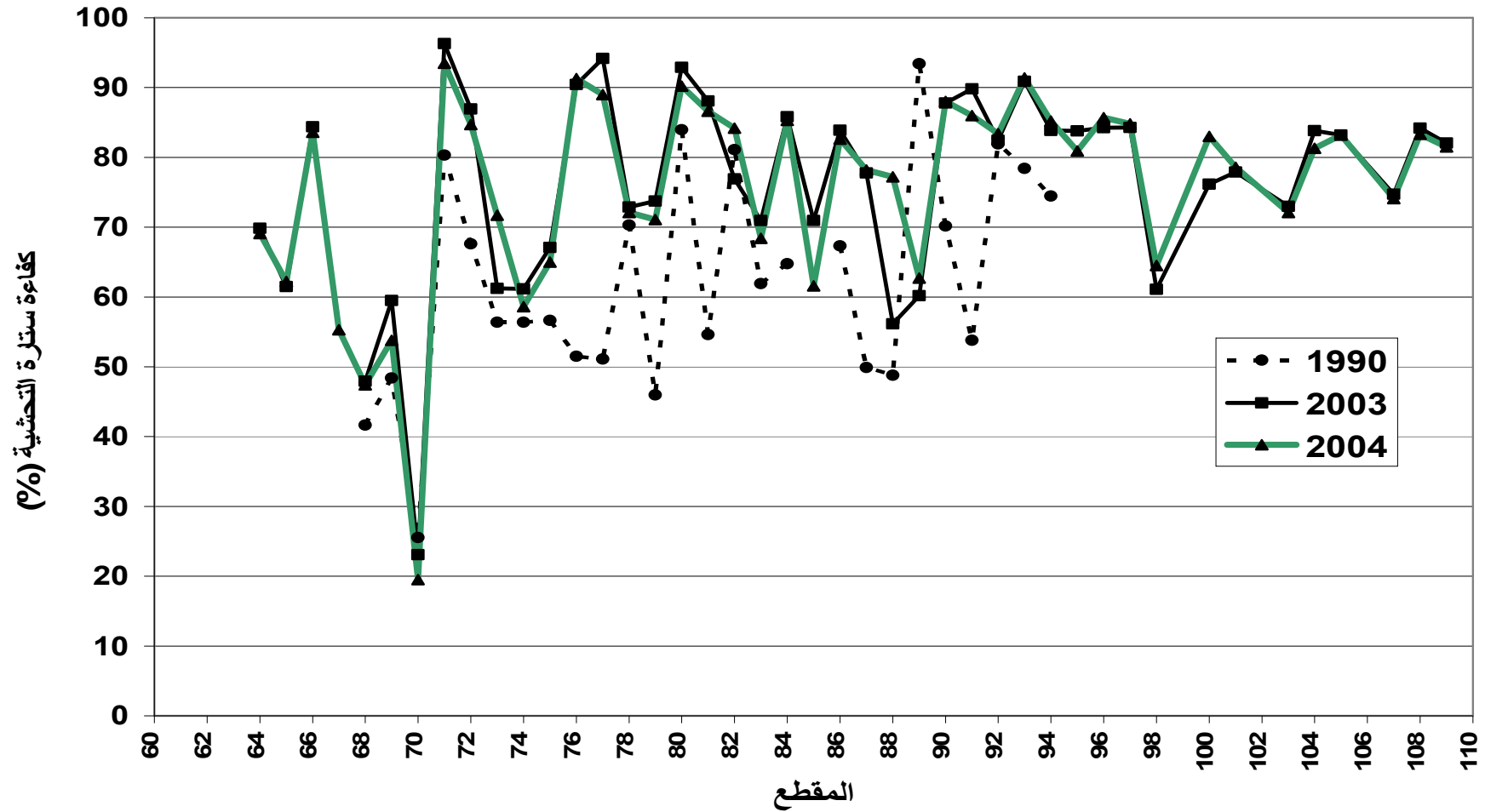
شكل (1): خارطة موقعية لسد الموصل و بعض الأجزاء الملحقة به (8)



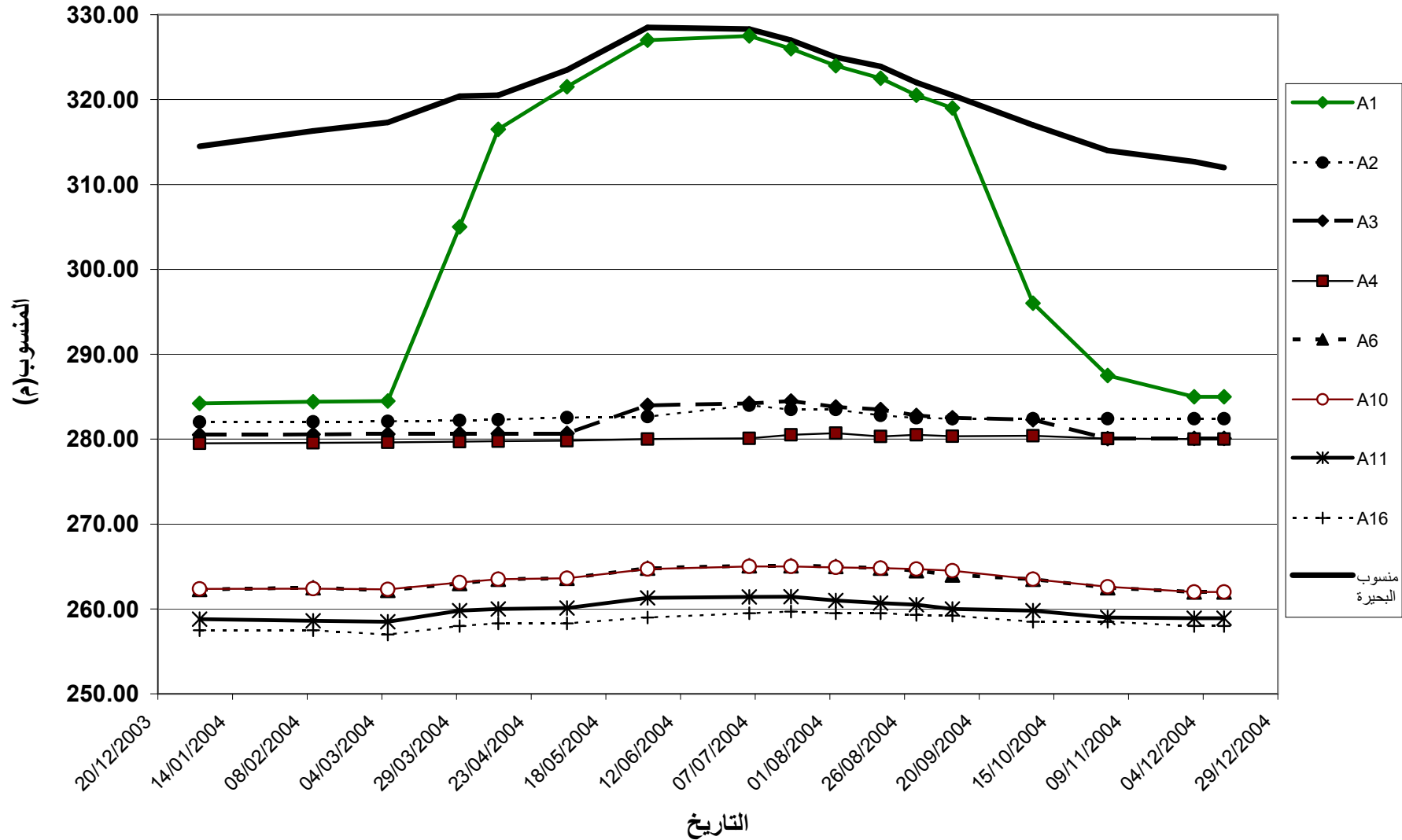
شكل (2): مقدار التصارييف لمياه نقاط التسرب وعلاقتها مع منسوب بحيرة سد الموصل.



شكل (3): المحتوى الكيمياءى لمياه نقاط التسرب وعلاقتها مع منسوب بحيرة الموصل.



شكل (4): كفاءة ستارة التحشية للمنطقة المحصورة ما بين المقطع (64) والمقطع (109) من سد الموصل.



شكل (5): مناسيب المياه الجوفية في البيزومتيرات المفتوحة لمؤخر الجانب الأيمن من سد الموصل.

Seepage Evaluation of Mosul Earth Dam

Dr. Raad H. Irzooki
Civil Engineering Department
University of Tikrit

Abdulghani A. Hasan
Dam and Water Resources Research Center
University of Mosul

ABSTRACT

The aim of the present research is studying the efficiency and performance of Mosul Dam with respect of the seepage. It was depended on the dam field observations of years 2004, 2003 and 1990. These observations included a discharge measurements and chemical analysis of seepage water from three points at the downstream left side of the dam, and the chemical analysis of reservoir water. Also, the ground water levels of grouting gallery piezometers and opening piezometers at the downstream right side were measured. All these field observations were taken with every water level of the dam reservoir.

The results concluded that the dam embankments being a good efficiency with respect the seepage, however, the efficiency of the dam foundation, which presented by the grout curtain, is in a good condition in most regions, except the region limited between section (68) and (70), where the efficiency of this region is equal to (19.5%), (23.07%) and (25.55%) in years 2004, 2003 and 1990 respectively. Also, the results indicated that some sections of the grout curtain, such as section (79), being with not agreeable efficiency in 1990, where Is equal to (45.97%). But according to a continuous and intensive grouting, the efficiency of this section increased and become (73.74%) and (73%) in 2003 and 2004 respectively.

Keywords: Earth Dams, Seepage, Mosul Dam, Grout curtain efficiency, Chemical Content.