مجلة جامعة الملك عبدالعزيز: علوم الأرصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة، م٢١ ع١، ص ص: ٢٤٥-٢٦٤ (٢٠١٠م/١٤٣١هـ)
DOI: 10.4197/Met. 21-1.14

# تقديرات أولية لتغذية المياه الجوفية بوادي نعمان

**عبدالله سعد الوقداني، ومحمد الشربيني كيوان**

*قسم علوم وإدارة موارد المياه – كلية الأرصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة– جامعة الملك عبدالعزيز، جدة، المملكة العربية السعودية*

*وقسم الري والهيدروليكا– كلية الهندسة– جامعة القاهرة، مصر*

*awagdani@kau.edu.sa & kiwanahmed@hotmail.com*

*المستخلص.* تم في الدراسة الحالية استخدام نموذج محاكاة حركة المياه بالتربة غير المشبعة wave model، لتقدير حجم التغذية للمياه الجوفية عند أعماق مختلفة من التربة بوادي نعمان، الواقع جنوب شرق مدينة مكة المكرمة. وقد تم تقسيم حوض وادي نعمان إلى ٣٥ حوضا فرعيا، وتطبيق النموذج لمحاكاة حركة المياه برسوبيات الأحواض الفرعية. وقد تم جمع بيانات خصائص التربة، والعلاقات المائية للتربة، والأمطار، والتبخر لمنطقة الدراسة، واستخدامها من قبل النموذج، لتقدير حجم الجريان السطحي، والفواقد، وتغذية المياه الجوفية. وقد استخدمت بيانات العواصف المطيرة للعامين ١٩٧٥م و١٩٨٠م اللذان سجلا أكبر وأصغر عمق مطر سنوي، خلال الفترة التي توفرت لها بيانات الأمطار، بمحطات قياس الأمطار التابعة لوزارة المياه والكهرباء بمنطقة الدراسة. وقد أظهرت نتائج الدراسة أن قيم التسرب كانت عالية بمعظم مناطق الرسوبيات بالوادي، حيث بلغ متوسطها حوالي ٩٨٪ من مياه الأمطار. وأظهرت النتائج

أن وادي يعرج ينتج معظم مياه الجريان السطحي بوادي نعمان، وأن حوالي ربع حجم الفواقد من الوادي تحدث بوادي الشرا. و قد كان وادي مجاريش أكثر روافد وادي نعمان مساهمة في تغذية المياه الجوفية بالوادي، بينما كانت أودية عرعر ويعرج أقلها، وأن هناك علاقة خطية تربط بين حجم تغذية المياه الجوفية وعمق التربة.

## المقدمة

يعتبر تحديد حجم التغذية المائية للخزانات الجوفية بالأودية من العناصر الهامة التي يعتمد عليها تحديد مقدار السحب الآمن للمياه الجوفية من الوادي، وتستخدم تلك المعلومات عند التخطيط للمصادر المائية بمنطقة الوادي. وتقدم الدراسة الحالية تقديرا للتغذية المائية عند أعماق مختلفة من التربة بوادي نعمان، الواقع جنوب شرق مدينة مكة المكرمة. وقد حظي وادي نعمان بعدد من الدراسات الهيدرولوجية السابقة شملت الأمطار، وخصائص التربة، والسيول. فقد قام الوقداني (Al-Wagdany, 2008) بدراسة تفصيلية لخصائص الأمطار والسيول بالوادي. كما قام أبو رزيزة (Abu Rizaiza *et al*., 2001) بدراسات هيدرولوجية تهدف إلى إعمار عين زبيدة التي تستمد مياهها من الخزان الجوفي لوادي نعمان، وشملت الدراسة تقييم المياه السطحية والجوفية بوادي نعمان، ودراسة تفصيلية للخصائص المائية للتربة. وقد أجرى (Es-Saeed *et al*., 2004) دراسة هدفت إلى بحث إمكانية استخدام الخزان الجوفي لوادي نعمان كخزان استراتيجي للمياه بمنطقة مكة المكرمة. وقد طبق علام والوقداني (Allam and Al-Wagdany, 1989) نموذجًا رياضيًا فيزيائيًا، بهدف إيجاد توزيع احتمالي لحجم السيل بوادي نعمان وعدد من الأودية بغرب المملكة العربية السعودية. وقد قام حسين (Hussein, 1985) بدراسة تغذية المياه الجوفية بوادي نعمان. ومن الدراسات الجيوفيزيائية والهيدروجيولوجية لوادي نعمان دراسة شركة واتسون (Watson, 1975).

تستخدم عدة طرق لتقدير التغذية المائية للخزانات الجوفية، مثل طريقة الفواقد (Tramsmission loss)، وطريقة الموازنة المائية، وطريقة قياس تقدم الجبهة المائية بالتربة غير المشبعة (Wu *et al.*, 1996). ويعد استخدام مثل تلك الطرق مكلفًا، خصوصًا بالمناطق الجافة قليلة الأمطار. وكبديل عنها فإنه يمكن استخدام نماذج رياضية لتمثيل حركة المياه بالطبقة غير المشبعة من التربة (Bauer and Vaccaro, 1987). ولقد قام عدد من الباحثين بدراسة تغذية المياه الجوفية بالمناطق الجافة. فقد اقترح عبد الرزاق وسورمان (Abdulrazzak and Sorman, 1994) معادلات لتقدير المفقود من السيول بمناطق جنوب غرب المملكة. وفي دراسة الحمص وريتشاردز (El-Hames and Richards, 1998)، تم تقدير المفقود من السيول بجنوب غرب المملكة بحوالي ١٦٠٠٠م$^{٣}$/كم. وقد أجرى القرشي وهبرتسون (Al-Qurashi and Herbertson, 1999) دراسة في سلطنة عمان، أشارت إلى أن معظم السيل تسرب من خلال التربة السطحية. وقد أجرى سكانلون (Scanlon *et al.*, 2006) حصرًا لدراسات تغذية المياه الجوفية بالمناطق الجافة، شمل أكثر من ١٤٠ دراسة بمختلف مناطق العالم. واستنتجوا أن معدل تغذية المياه الجوفية تراوح بين ٠,٣ و٣٥ مم/ سنة، وأنه قد وصل إلى ١٥٠ مم/ سنة ببعض المناطق بأفريقيا خلال السنوات المطيرة.

يعد تقدير تغذية المياه الجوفية بالخزانات غير المحصورة بالمناطق الجافة من المهام المعقدة، نظرًا لتأثر العملية بعدد من العوامل المتغيرة مكانيا وزمانيا، مثل خصائص المطر، والتربة، وعناصر المناخ (Memon, 1995). ومن الدراسات التي اهتمت بتقدير التغذية المائية للمياه الجوفية كنسبة من الأمطار السنوية دراسة غيث وسلطان (Gheith and Sultan, 2002)، التي وجدت أن معدل تغذية المياه الجوفية تراوح بين٢١ و٣١٪ بأحد أودية الصحراء الشرقية بمصر. وقد خلصت دراسة بمنطقة شبه جافة بالمكسيك إلى نتيجة مشابهة، حيث

قدر معدل التغذية للمياه الجوفية بحوالي ٣١٪ من المطر السنوي، ووصلت إلى ٣٩٪ من المطر السنوي في بعض السنين بالمنطقة (Ponce *et al.,* 1999). وأشارت نتائج الدراسة التي اجريت على المنطقة الجنوبية الغربية بالمملكة باستخدام طريقة النظائر المشعة، إلى أن معدل التغذية السنوية من الأمطار للمياه الجوفية بلغ حوالي ١١٪ (Subyani, 2004).

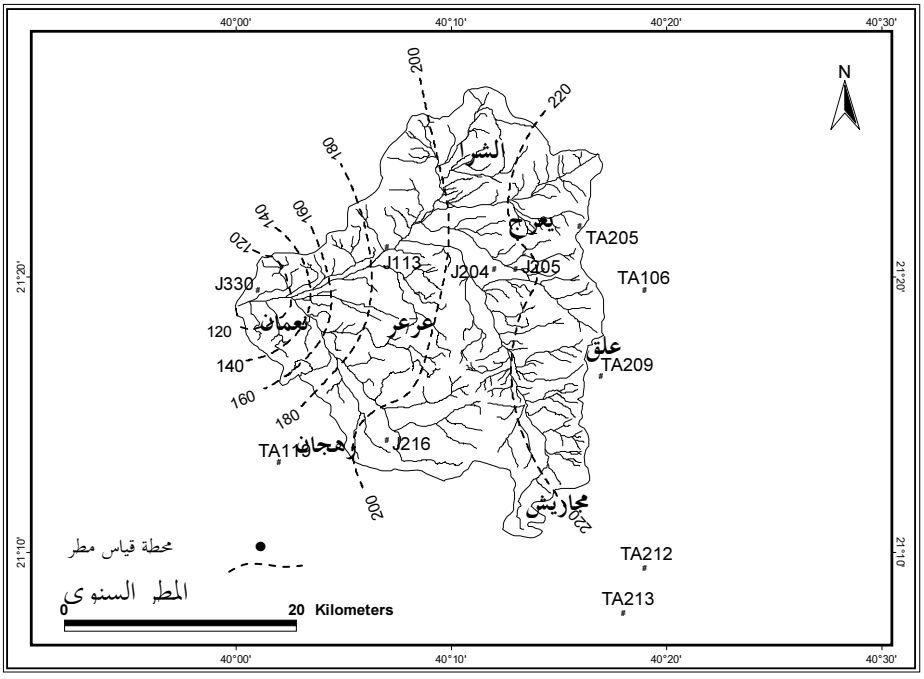
تهدف الدراسة الحالية إلى تقدير قيم تغذية المياه الجوفية بوادي نعمان، وذلك باستخدام النموذج wave model، والذي يقوم بمحاكاة حركة المياه خلال عمق التربة غير المشبعة في الاتجاه الرأسي، وقد قام بتطويره فانكلوستر وآخرون (Vanclooster *et al.,* 1996). ويتميز النموذج بقدرته على التعامل مع تغير كثافة الأمطار، واختلاف خصائص طبقات التربة، وحالات متواصلة من العواصف الممطرة والممتدة لعام كامل. ومن مميزات هذا النموذج أنه يتعامل مع أعماق تربة تصل إلى ٢٠ مترًا، ولذلك يعد مناسبًا للتطبيق في المناطق التي تكون المياه الجوفية بها عميقة، كما هو الحال بوادي نعمان الذي يزيد عمق المياه الجوفية به عن ٢٠ مترًا بكثير من مناطق الوادي.

## المواد وطرق البحث

تم في الدراسة الحالية استخدام نموذج محاكاة حركة المياه في التربة (wave model) لتقدير تغذية المياه الجوفية عند أعماق مختلفة بوادي نعمان. ويتطلب النموذج بيانات المطر اليومية، والتبخر الأقصى اليومي، وخصائص التربة. وقد تم الحصول على بيانات الأمطار من محطات قياس المطر بمنطقة الدراسة، بينما تم الحصول على بيانات التبخر و خصائص التربة من الدراسات السابقة التي تمت على منطقة الدراسة.

## منطقة الدراسة

يقع وادي نعمان جنوب شرق مدينة مكة المكرمة على مقربة من المشاعر المقدسة في عرفات ومزدلفة ومنى. وقد أكسب هذا الموقع الاستراتيجي وادي نعمان أهمية تاريخية كبيرة، حيث كان أهم مصدر مياه للحجيج، خصوصا بعدما تم إنشاء قنوات عين زبيدة التي تستمد مياهها من الوادي في القرن الثاني الهجري. وتبلغ مساحة الوادي حوالي ٦٦٥ كيلومترا مربعا، وتصب في مجراه الرئيس عدد من الروافد، أهمها: أودية رهجان، ومجاريش، والشرا، وعرعر، ويعرج، وعلق. ويعرض الشكل ١ خريطة تبين حوض وادي نعمان و روافدة الرئيسة.




**شكل ١. مواقع محطات قياس الأمطار وقيم متوسط المطر السنوي بوادي نعمان.**

### *البيانات المستخدمة*

تنوعت البيانات المطلوبة لتطبيق نموذج المحاكاة، حيث اشتملت على بيانات عن المناخ والمياه والتربة. وتتضمن البيانات المناخية القيم اليومية لكل من عمق المطر، وأقصى معدلات بخر–نتح. وتشمل بيانات المياه والتربة التي يتطلبها النموذج، إجمالي عمق التربة، وأعماق التربة المطلوب تقدير معدلات الصرف السفلي عندها، وخواص التربة الطبيعية، وعلاقة محتوى الرطوبة بالشد الرطوبي، وعلاقة محتوى الرطوبة بمعامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع، وقيم معامل التوصيل الهيدروليكي المشبع.

لقد تم جمع بيانات الأمطار لمحطات قياس المطر الواقعة بمنطقة الدراسة، ويعرض الشكل ١ مواقع تلك المحطات. وقد تم جمع بيانات المطر السنوية من النشرات الهيدرولوجية لبيانات المطر اليومية الصادرة عن وزارة الزراعة والمياه (وزارة المياه والكهرباء حاليا)، وذلك للفترة بين ١٩٧٠ و١٩٨٤م. كما تم جمع بينات المطر السنوية للفترة من ١٩٨٥ إلى ٢٠٠٤م عن طريق الحصول على بيانات المطر السنوي من وزارة المياه والكهرباء مباشرة، حيث أن تلك البيانات غير منشورة. وقد تبين من قيم عمق المطر السنوي أن خلال الفترة ١٩٧٠–٢٠٠٤م، سجل عام ١٩٧٥م أكبر عمق مطر سنوي بلغ ٣٢٥,٥ مم، بينما سجل عام ١٩٨٠م أقل عمق مطر سنوي بلغ ٦١ مم. وقد تم تطبيق نموذج المحاكاة الهيدرولوجي باستخدام بيانات المطر اليومية للعامين ١٩٧٥ و١٩٨٠م، بهدف تمثيل حالتين متباينتين من عمق المطر السنوي الهاطل على منطقة الدراسة، بحيث يمثل عام ١٩٧٥م الأعوام المطيرة، ويمثل عام ١٩٨٠م الأعوام قليلة المطر. وقد بلغ عدد العواصف الممطرة على وادي نعمان ٤٨ عاصفة في عام ١٩٧٥م، و٧ عواصف في عام ١٩٨٠م. وفيما يتعلق ببيانات البخر– نتح التي يتطلبها تطبيق النموذج، فقد أمكن الحصول عليها من دراسة

العمودي وآخرون (Al-Amoudi *et al.,* 1999) الذين استخدموا بيانات مناخية من المحطة المناخية الواقعة بمدينة مكة المكرمة القريبة من منطقة الدراسة.

لقد تم الحصول على بيانات خواص التربة، والعلاقات المائية، ومعدلات التسرب، والعلاقة بين محتوى الرطوبة ومعامل التوصيل الهيدروليكي غير المشبع من الدراسة التي أجراها أبو رزيزة وآخرون (Abu-Rizaiza *et al.*, 2001)، والتي تم بها تحديد الخواص المائية للتربة بوادي نعمان عن طريق إجراء تجارب حقلية ومعملية على عينات من التربة ممثلة لمناطق الوادي المختلفة.

### *تطبيق نموذج محاكاة حركة المياه بالتربة*

يقوم نموذج "wave model" بتقدير كل من تغير قيم رطوبة التربة مع الزمن على طول عمق التربة، ومعدلات التسرب خلال التربة السطحية، ومعدلات التغذية الجوفية أسفل أي عمق اختياري للتربة، وكذلك معدلات الفقد المائي بالتبخر. ونظرًا لطبيعة النموذج في أنه يقوم بمحاكاة حركة المياه في الاتجاه الرأسي فقط، فإنه من الصعب تطبيقه مباشرة على كامل منطقة الدراسة ذات المساحة الكبيرة والخصائص المتباينة، من حيث طبيعة التربة، ومساحات تجميع المياه، وكثافة الأمطار، والخصائص المورفولوجية. لذلك فقد تم تطبيق النموذج على كل منطقة ذات خصائص متشابهة على حده، عن طريق تقسيم وادي نعمان إلى سبعة أحواض فرعية تمثل روافد الوادي الرئيسة، ثم تقسيم تلك الروافد إلى أحواض ثانوية صغيرة. وقد تم تطبيق النموذج على كل منها منفردا، مع مراعاة العلاقات والارتباطات فيما بين هذه الأحواض الثانوية من بداية تجميع المياه في الأحواض حتى مخرج الوادي. وقد تم اعتبار مياه الجريان السطحي المحسوبة بواسطة النموذج عند مخرج كل حوض ثانوي بمثابة مدخلاً للمياه للحوض الذي

يليه. وقد تم تطبيق النموذج الهيدرولوجي على مناطق الرسوبيات في كل حوض ثانوي، وتم افتراض أن المياه الجارية السطحية على الأجزاء الجبلية من الأحواض الثانوية سوف تنتقل سريعا لتتركز على مساحات الرسوبيات ضمن هذه الأحواض، متسببة في عمق مائي متراكم على سطح المجرى الرئيس للأحواض. وقد تم جمع كل من عمق المياه القادمة من المناطق الجبلية، وعمق المطر المباشر على الرسوبيات لتشكل عمق المياه المكافئ الذي يستخدمه النموذج الهيدرولوجي عند تطبيقه على كل حوض.

وقد تم تقدير عمق المياه المكافئ ($d_e$) على رسوبيات المجرى الرئيس لكل حوض، باستخدام قانون الاتزان المائي على مستوى كل حوض ثانوي معرض لهطول مطر مباشر بعمق (d) كالآتي:

$$de_i = d_i + dm_i + dr_i \qquad (١)$$

حيث:

$de_i$: عمق المطر المكافئ على رسوبيات الحوض الثانوي، i.

$d_i$: عمق المطر المباشر على رسوبيات الحوض الثانوي، i.

$dm_i$: عمق المطر المكافئ على الرسوبيات الناتج عن مياه الجريان السطحي من المناطق الجبلية للحوض الثانوي، i.

$dr_i$: عمق المطر المكافئ على رسوبيات الحوض الثانوي i ، الناتج عن مياه الجريان السطحي من الحوض الفرعي، i-1 الذي يصب فيه.

وتفترض الدراسة الحالية أن هناك نسبة من الأمطار تفقد بالمناطق الجبلية للحوض عن طريق التسرب عبر الشقوق بالصخور، أو تلك التي تحتجز بالمنخفضات، بينما تتحول باقي مياه الأمطار إلى جريان سطحي يصب في رسوبيات ذلك الحوض. وقد سبق استخدام هذه الفرضية من قبل علام والوقداني

(Allam and Al-Wagdany, 1989) في دراسة تقدير حجم السيول السنوية بعدد من الأودية، كان من ضمنها وادي نعمان، والذي هو منطقة الدراسة الحالية. ويمكن حساب عمق المطر المكافئ على الرسوبيات الناتج من المناطق الجبلية بالحوض، عن طريق قسمة حجم المطر الهاطل على المناطق الجبلية بالحوض (بعد خصم حجم الفواقد) على مساحة الرسوبيات بالحوض. ويمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية:

$$dm_i = (\frac{A_i}{a_i} - 1)(1-\phi)d_i \qquad (٢)$$

حيث:

$\phi$: نسبة الفواقد المائية بالمناطق الجبلية.

$A_i$: مساحة الحوض الثانوي i.

$a_i$: مساحة الرسوبيات بالحوض الثانوي i.

ويمكن حساب عمق المطر المكافئ على رسوبيات الحوض الثانوي الناتج عن مياه الجريان السطحي من الحوض الذي يصب به، عن طريق المعادلة التالية:

$$dr_i = (\frac{a_{i-1}}{a_i})dr_{i-1} \qquad (٣)$$

وعند التعويض بالمعادلتين (٢) و(٣) في المعادلة (١)، فإنه يمكن حساب العمق المكافئ للمطر على رسوبيات الحوض الثانوي عن طريق المعادلة التالية:

$$de_i = d_i\left[1 + (\frac{A_i}{a_i} - 1)(1-\phi)\right] + (\frac{a_{i-1}}{a_i})dr_{i-1} \qquad (٤)$$

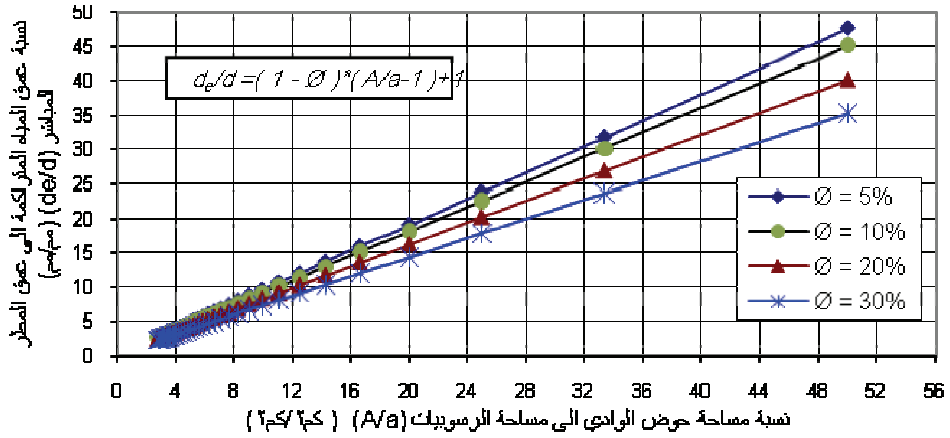
ويتضح من المعادلة (٤) أنه يمكن حساب عمق المطر المكافئ على رسوبيات الحوض الثانوي بمعرفة عمق المطر المباشر على الحوض، ومساحة الحوض، ومساحة الرسوبيات بالحوض، ونسبة الفواقد بالمناطق الجبلية. وعند

استخدام عمق المطر المكافئ كمدخل للنموذج الهيدرولوجي "wave model"، فإنه يمكن تقدير حجم المياه المتسربة خلال التربة السطحية، وحجم الجريان السطحي، وحجم تغذية المياه الجوفية عند مختلف أعماق التربة لجميع الأحواض الثانوية الواقعة ضمن حوض الوادي المدروس مع مراعاة العلاقات الهيدرولوجية بين تلك الأحواض.

ولكي يمكن تطبيق النموذج الهيدرولوجي على منطقة الدراسة، فقد تم تقسيم وادي نعمان إلى ٣٥ حوضا ثانويا باستخدام الخرائط الطبوجرافية لمنطقة الدراسة. وقد تم قياس مساحات كل حوض ثانوي، ومساحات المناطق الرسوبية الواقعة ضمن الأحواض الثانوية. وقد تراوحت قيم مساحات المناطق الرسوبية بتلك الأحواض بين ٠,٣ كم$^{٢}$ و ٥,٩ كم$^{٢}$، وتراوحت مساحات الأحواض الثانوية بين ٢,٩٠ كم$^{٢}$ لأحد الأحواض الثانوية بوادي عرعر، و٥٤,٥١ كم$^{٢}$ لحوض ثانوي بوادي مجاريش. وتم كذلك قياس أطوال مجارى السيل الرئيسة داخل مختلف االأحواض الثانوية، وتراوحت قيمها بين ١,٥ كيلو مترًا لأحد الأحواض بوادي الشرا، و١٠ كيلومترات لحوض ثانوي بوادي مجاريش. كما تم تحديد محطات قياس المطر المؤثرة على كل حوض ثانوي باستخدام طريقة مضلعات ثايسن (Thiessen, 1911).

وقد أمكن الحصول على جميع البيانات التي يتطلبها تطبيق نموذج محاكاة حركة المياه بالتربة على منطقة الدراسة، باستثناء نسبة فواقد المياه خلال المناطق الجبلية ($\emptyset$). ولم تتوفر هذه القيمة من الدراسات السابقة، وقد تم افتراضها بالدراسة الحالية نظرا لأن تقدير تلك النسبة يتطلب دراسات حقلية ونمذجة للسيول، مما يجعلها تستحق أن تكون دراسة بحثية مستقلة. يبين الشكل (٢) أثر تغير قيم نسبة الفواقد خلال الجبال $\emptyset$، ونسب المساحات (A/a)، وقيم

عمق المياه المكافئ منسوبًا لعمق المطر المباشر ($d_e/d$)، وذلك بافتراض قيم مختلفة للنسبة $\varnothing$، تراوحت بين ٥٪ و٣٠٪، وقيم مختلفة لنسب المساحات تراوحت بين ٢ و٥٠. ويتضح من الشكل أن قيم نسبة الأمطار تكون حساسة لقيمة نسبة الفواقد كلما زاد مقدار نسب المساحات. وقد تراوحت القيم المقاسة للنسبة بين المساحات في منطقة الدراسة الحالية بين ٨ و١٦. ويتبين من الشكل (٢) أن مدى تغير ($d_e/d$) المناظر لنسب تغير المساحات بمنطقة الدراسة (٨ إلى ١٦) كان محصورا في نطاق ضيق، مما يعني أن النسبة ($d_e/d$) غير حساسة لقيمة $\varnothing$ بالنسبة لمنطقة الدراسة الحالية. لذلك تم افتراض أن $\varnothing$ تساوي ١٠٪ للمناطق الجبلية بمنطقة الدراسة، وهي قيمة متوسطة في المدى الذي تم اختبار الحساسية به، وهو يتلائم كذلك مع طبيعة الجبال في منطقة الدراسة التي تتكون غالبا من صخور صماء، وتتميز مجاري المياه بها بالميول العالية. ويتسبب عاملا صلابة الصخور والميول العالية عادة في سرعة تحرك المياه من المنطقة، وقلة لفواقد المائية.




**شكل ٢. حساسية قيم نسبة الفواقد بالمناطق الجبلية لتغير نسب مساحات الأحواض إلى مساحات الرسوبيات.**

## النتائج والمناقشة

يعرض الجدولان ١ و٢ قيم نسب التسرب، والفواقد، وتغذية المياه الجوفية التي توزعت إليها الأمطار الهاطلة عامي ١٩٧٥ و١٩٨٠م على التوالي. ويتبين من الجدول ١ أن نسبة مياه الأمطار المتسربة خلال التربة السطحية للعام ١٩٧٥م كانت عالية جدا لجميع روافد وادي نعمان، فقد بلغت أقل قيمة لها ٧٥٪ بوادي يعرج. وقد بلغت تلك النسبة لوادي نعمان ككل ٩٧,٥٪ من إجمالي مياه المطر على الوداي. وفيما يتعلق بالأحواض الثانوية داخل تلك الروافد فقد كانت قيم التسرب بها أيضا عالية جدا، باستثناء أحد الأحواض الثانوية بأعلى وادي يعرج، حيث وصلت هذه النسبة إلى حوالي ٥٥٪ من عمق مياه المطر. ويتبين من نتائج تطبيق النموذج الموضحة بالجدول ٢ أن جميع الأمطار التي هطلت على الوادي عام ١٩٨٠م قد تسربت من خلال التربة السطحية للوادي.

**جدول ١. نسب حجم التغذية الجوفية والتسرب والفواقد إلى حجم الأمطار بوادي نعمان لعام ١٩٧٥م (٪).**

| الوادي | الجريان السطحي | التسرب | تغذية أسفل ٥م | تغذية أسفل ١٠م | تغذية أسفل ١٥م | تغذية أسفل ٢٠م | الفواقد |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الشرا | ٠,٠ | ١٠٠ | ٧٤,٣ | ٦٨,٣ | ٦٢,١ | ٥٦,٠ | ٢١,٦ |
| يعرج | ٢٢,٨ | ٧٥ | ٥٣,٦ | ٤٤,٥ | ١٦,٤ | ١١,٤ | ٢١,٦ |
| علق | ٠,٠ | ١٠٠ | ٨٠,٧ | ٧٨,٢ | ٧٣,٩ | ٧٠,٧ | ١٧,١ |
| مجاريش | ٠,٠ | ١٠٠ | ٨٤,٥ | ٨٣,٤ | ٨١,١ | ٨٠,٣ | ١٣,٠ |
| عرعر | ٠,٠ | ١٠٠ | ٨٢,٤ | ٨١,١ | ٧٦,٤ | ٧٤,٣ | ١٥,٢ |
| رهجان | ٠,٠ | ١٠٠ | ٨٣,٢ | ٨١,٩ | ٧٩,٣ | ٧٧,٧ | ١٣,٧ |
| نعمان (المجرى الرئيس) | ٠,٤ | ٩٩,٦ | ٧٥,٦ | ٧١,٧ | ٦٤,٨ | ٥٩,٦ | ٢٠,٠ |
| الإجمالي بوادي نعمان | ٢,٣ | ٩٧,٥ | ٧٧,٥ | ٧٤,٣ | ٦٧,٩ | ٦٤,٩ | ١٦,٨ |

تم تقدير معدلات التغذية للمياه الجوفية أسفل أربعة أعماق من التربة وهي ٥، و١٠، و١٥، و٢٠م. و أظهرت النتائج للعام ١٩٧٥م أن أحد الأحواض الثانوية بأعلى وادي مجاريش سجل أعلى نسبة تغذية جوفية عند الأعماق الأربعة للتربة، فقد تراوحت تلك النسبة بين ٩٣ و٩٦٪. وقد كانت أدني نسبة تغذية في حوض فرعي بأعلى وادي يعرج، حيث تراوحت نسب التغذية عند الأعماق الأربعة بين ٤ و٥٧٪.

**جدول (٢). نسب حجم التغذية الجوفية والتسرب والفواقد إلى حجم الأمطار بوادي نعمان لعام ١٩٨٠م (٪).**

| الوادي | الجريان سطحي | التسرب | تغذية أسفل ٥م | تغذية أسفل ١٠م | تغذية أسفل ١٥م | تغذية أسفل ٢٠م | الفواقد |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الشرا | ٠,٠ | ١٠٠ | ٦٥,٠ | ٤٧,٨ | ٢٨,٣ | ١٧,٣ | ٢٧,٤ |
| يعرج | ٠,٠ | ١٠٠ | ٢٧,٨ | ١٠,٦ | ٣,٥ | ٠,٠ | ٣٤,٦ |
| علق | ٠,٠ | ١٠٠ | ٧٤,٠ | ٦٥,١ | ٥١,٨ | ٣٨,٩ | ٢٢,٩ |
| مجاريش | ٠,٠ | ١٠٠ | ٧٧,٣ | ٧٥,٩ | ٧١,٢ | ٦٨,٦ | ١٩,٩ |
| عرعر | ٠,٠ | ١٠٠ | ٧٣,٣ | ٦٨,٤ | ٦٠,١ | ٥٣,٠ | ٢٣,٩ |
| رهجان | ٠,٠ | ١٠٠ | ٧٣,٢ | ٦٨,٢ | ٦٠,٠ | ٥٣,٢ | ٢٢,٨ |
| نعمان (المجرى الرئيس) | ٠,٠ | ١٠٠ | ٥٩,٢ | ٥٥,١ | ٥٠,٩ | ٤٠,٦ | ٢٧,٠ |
| الإجمالي بوادي نعمان | ٠,٠ | ١٠٠ | ٦٨,٩ | ٦١,٨ | ٥٣,١ | ٤٦,٠ | ٢٤,٦ |

يعرض الجدول ٣ نسب مساهمة روافد وادي نعمان في كل من الأمطار، والجريان السطحي، والفواقد، والتغذية الجوفية للأعماق المختلفة للعام ١٩٧٥م. ويتضح من الجدول أن أكثر من ربع حجم مياه الأمطار التي تهطل على وادي نعمان تكون على وادي مجاريش، بينما ينتج وادي يعرج ذو الطبيعة الصخرية معظم مياه الجريان السطحي بوادي نعمان. ويتبين من الجدول كذلك أن أكثر روافد وادي نعمان مساهمة في الفواقد هو وادي الشرا، حيث

يحدث به حوالي ربع حجم الفواقد من الوادي. وفيما يتعلق بحجم التغذية الجوفية عند الأعماق المختلفة، فيتضح أن وادي مجاريش كان أكثر الأودية مساهمة بينما كانت أودية عرعر ويعرج الأقل مساهمة.

**جدول ٣. نسب مساهمة روافد وادي نعمان في تغذية المياه الجوفية والتسرب والفواقد لعام ١٩٧٥م (٪).**

| الوادي | الأمطار | الجريان السطحي | التسرب | تغذية أسفل عمق ٥م | تغذية أسفل عمق ١٠م | تغذية أسفل عمق١٥م | تغذية أسفل عمق٢٠م | الفواقد |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الشرا | ١٥,٤ | ٠,٠٠ | ١٥,٨ | ١٤,٤ | ١٣,٨ | ١٣,٧ | ١٢,٩ | ٢٥,٠ |
| يعرج | ٩,٧٠ | ٩٦,٥ | ٧,٥٠ | ٦,٩٠ | ٦,٠٠ | ٢,٧٠ | ٢,١٠ | ١٥,٧ |
| علق | ٧,٦٠ | ٠,٠٠ | ٧,٨٠ | ٧,٧٠ | ٧,٨٠ | ٨,١٠ | ٨,١٠ | ٧,٩٠ |
| جاريش | ٢٦,٩ | ٠,٩٠ | ٢٧,٦ | ٢٩,٢ | ٣٠,١ | ٣٢,٠ | ٣٣,١ | ١٣,٩ |
| عرعر | ٤,٦٠ | ٠,٠٠ | ٤,٧٠ | ٤,٨٠ | ٥,٠٠ | ٥,١٠ | ٥,٢٠ | ٣,٦٠ |
| رهجان | ٢٠,٨ | ٠,٠٠ | ٢١,٣ | ٢٢,٢ | ٢٢,٨ | ٢٤,١ | ٢٤,٨ | ١٢,٦ |
| نعمان | ١٥,٠ | ٢,٦٠ | ١٥,٣ | ١٤,٦ | ١٤,٥ | ١٤,٣ | ١٣,٨ | ٢١,٢ |

تمت مقارنة نتائج تطبيق النموذج الهيدرولوجي للعامين ١٩٧٥ و١٩٨٠م و يتبين من المقارنة أن حجم التسرب خلال التربة السطحية لوادي نعمان بلغ ٢١١ و ٤١ مليون متر مكعب للعامين ١٩٧٥ و ١٩٨٠م على التوالي. و يتضح من المقارنة أن حجم التسرب خلال عام ١٩٧٥م كان حوالي خمسة أضعاف حجم التسرب خلال عام ١٩٨٠م. وكمقارنة بين إجمالي حجم التغذية للمياه الجوفية أسفل مختلف أعماق التربة للعامين يتضح أن حجم التغذية في عام ١٩٧٥م كان دائمًا أعلى من عام ١٩٨٠م. وعند مقارنة إجمالي حجم الفواقد من الوادي للعامين ١٩٧٥، ١٩٨٠م يتبين أن حجم الفواقد في العامين كان ٣٦,٢ و ٩,٩ مليون متر مكعب على التوالي وقد كانت نسبة حجم الفواقد إلى حجم مياه الأمطار الساقطة على الوادي ١٦,٨ و ٢٤,٦٪ للعامين على التوالي.

وقد أظهرت قيم الجريان السطحي للعامين ١٩٧٥ و١٩٨٠م أن حجم مياه الجريان السطحي في عام ١٩٧٥م كان ٥,٤ مليون مترًا مكعبًا، قادمة من وادي يعرج عند تقابله مع المجرى الرئيس لوادي نعمان، بينما كان حجم الجريان السطحي ضئيلا وبلغ ٢,٥ ألف مترًا مكعبًا في عام ١٩٨٠م. وكانت نسبة حجم مياه الجريان السطحي إلى حجم مياه الأمطار الساقطة على وادي نعمان هي ٢,٣٪ لعام ١٩٧٥م، وحوالي صفر٪ لعام ١٩٨٠م. ويمكن أن يعزى قلة الجريان السطحي بمنطقة الدراسة إلى أن معدل تسرب المياه خلال التربة السطحية للوادي كان كبيرا جدا لمعظم مناطق الوادي، بسبب طبيعة التربة ذات القوام الخشن في الطبقات السطحية وتحت السطحية، إلى جانب أن النموذج المستخدم يعتمد على المعدلات اليومية للمتغيرات مثل الأمطار والتبخر، وبالتالي قد لا يتمكن بدقة كافية من محاكاة الظواهر التي تحدث خلال وحدات زمنية أقل من اليوم، مثل الدقائق والساعات التي يحدث خلالها الجريان السطحي عادة أثناء العواصف الممطرة.

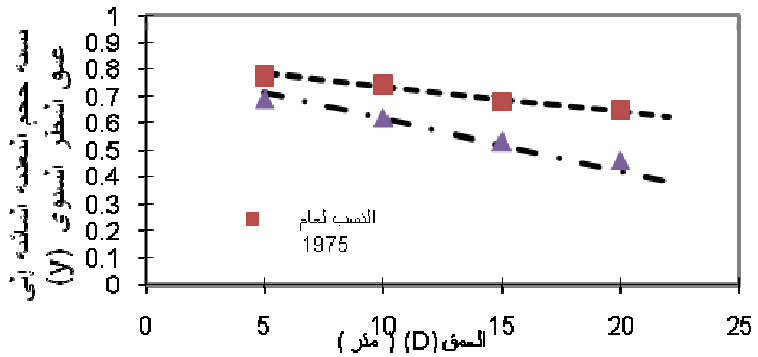
لقد أعطى نموذج محاكاة حركة المياه بالتربة قيم تغذية المياه الجوفية لأعماق تربة تصل إلى ٢٠مترًا. ولإيجاد قيم التغذية عند أعماق أكبر، فقد تم استخدام التحليل الإحصائي لاستنباط أفضل علاقة رياضية تربط بين قيم حجم تغذية المياه الجوفية وعمق التربة. وقد أظهرت النتائج أن العلاقة بين المتغيرين كانت خطية ولجميع روافد وادي نعمان، حيث وصل معامل الارتباط الإحصائي إلى قيم أكبر من ٩٠٪ ، ماعدا وادي يعرج ( ٧٥,٣٪ للعام ١٩٨٠م)، والمجرى الرئيس لوادي نعمان (٨٢,٥٪ للعام ١٩٨٠م). وتبين المعادلتان (٥) و (٦) العلاقة بين قيم تغذية المياه الجوفية كنسبة من مياه المطر وعمق التربة لوادي نعمان للعامين ١٩٧٥ و١٩٨٠م على التوالي.

$$Y_{1975} = 0.8316 - 0.00947D \quad (٥)$$

$$Y_{1980} = 0.8135 - 0.01972D \quad (٦)$$

حيث $Y$ هو نسبة حجم تغذية المياه الجوفية إلى حجم المطر السنوي و$D$ هو عمق التربة بالأمتار.

وقد بلغت قيم معامل الارتباط للمعادلتين (٥) و (٦)، ٩٦,٥ و ٩٣,١٪ على التوالي. ويعرض الشكل ٣ العلاقة بين قيم تغذية المياه الجوفية كنسبة من مياه المطر وعمق التربة لوادي نعمان للعامين ١٩٧٥ و١٩٨٠م. ويتبين من الشكل أن العلاقة بين المتغيرين خطية عكسية، وأن قيم التغذية كانت تتناقص بمعدل أسرع مع العمق للعام ١٩٨٠م عنها للعام ١٩٧٥م. ولقد تم استخدام المعادلات الخطية المستنبطة لتقدير معدلات التغذية أسفل الأعماق ٣٠مترًا و٤٠مترًا لوادي نعمان. وقد كانت التغذية أسفل العمق ٤٠م للعامين ١٩٧٥ و١٩٨٠م ١١٠ و١ مليون متر مكعب وذلك بنسبة ٤٥,٣ و٢,٤٪ من إجمالي حجم مياه المطر السنوي. وقد بلغت التغذية أسفل العمق ٣٠مترًا ١٣٠ و١٠ مليون مترًا مكعبًا وبنسبة ٥٤,٧ و٢٢,٤٪ من حجم مياه المطر للعامين ١٩٧٥ و١٩٨٠ على التوالي. ويوضح الجدول ٤ قيم التغذية الجوفية كنسبة من مياه الأمطار لأعماق التربة المختلفة بوادي نعمان للعامين ١٩٧٥ و١٩٨٠م.




**شكل ٣. حساسية قيم نسبة الفواقد بالمناطق الجبلية لتغير نسب مساحات الأحواض إلى مساحات الرسوبيات.**

**جدول ٤. نسب حجم تغذية المياه الجوفية إلى حجم المطر بوادي نعمان للعامين ١٩٧٥ و١٩٨٠م .**

| عمق التربة (م) | نسبة حجم التغذية الجوفية لعام ١٩٧٥ | نسبة حجم التغذية الجوفية لعام ١٩٨٠ |
|---|---|---|
| ٥ | ٧٧,٥ | ٦٨,٩ |
| ١٠ | ٧٤,٣ | ٦١,٨ |
| ١٥ | ٦٧,٩ | ٥٣,١ |
| ٢٠ | ٦٤,٩ | ٤٦,٠ |
| ٣٠ | ٥٤,٧ | ٢٢,٤ |
| ٤٠ | ٤٥,٣ | ٢,٤ |

## الاستنتاجات والتوصيات

اتضح من نتائج الدراسة أن معظم مياه الأمطار كانت تتسرب عبر التربة السطحية للوادي. وتتوافق هذه النتيجة مع نتائج الدراسات السابقة التي أشارت إلى ارتفاع معدل التسرب برسوبيات وادي نعمان. فقد أوضحت دراسة أبو رزيزة وآخرون (Abu Rezaizah *et al*., 2001) إلى أن التربة السطحية بوادي نعمان ذات قوام خشن وأن المياه تتسرب من خلالها بمعدلات عالية.

وقد أشارت نتائج الدراسة إلى أن قيم معامل السيل (runoff coeffecient) كانت منخفضة بوادي نعمان، حيث انعدمت السيول في عام ١٩٨٠م، بينما كانت نسبتها ٢,٣٪ في عام ١٩٧٥م. و تتوافق هذه النتيجة مع ما خلصت إليه الدراسات السابقة من أن السيول نادرة الحدوث بمنطقة الدراسة. فقد أشارت دراسة الوقداني (Al-Wagdany, 2008)، إلى أن معظم السيول التي تحدث بالوادي صغيرة ولا تصل إلى مخرج الوادي، وأن معدل عدد السيول السنوي

بوادي نعمان يبلغ حوالي سيلان على الرغم أن المعدل السنوي لعدد العواصف الممطرة على الوادي يبلغ حوالي ٣٠ عاصفة.

لقد بينت نتائج الدراسة أن أودية مجاريش ورهجان هي أكثر فروع وادي نعمان تغذية للمياه الجوفية، بينما كانت أودية يعرج وعرعر الأقل من ناحية التغذية للمياه الجوفية. وقد اعتمدت الدراسة الحالية على قيم مقاسة لكل من الأمطار، وخصائص التربة، والمناخ، ما عدا قيمة نسبة الفواقد بالمناطق الجبلية بمنطقة الدراسة التي تم افتراضها لتساوي ١٠٪، اعتمادا على نتائج تحليل الحساسية لقيمة ذلك المتغير. وقد كانت قيم تغذية المياه الجوفية التي توصلت إليها الدراسة الحالية أعلى من القيم التي توصلت إليها الدراسات السابقة التي أجريت بالمناطق الجافة. و يمكن أن يعزى ارتفاع معدل تغذية المياه الجوفية بالدراسة الحالية إلى طبيعة الرسوبيات ذات القوام الخشن بوادي نعمان، وإلى عدم إمكانية تقدير نسبة الفواقد بالمناطق الجبلية بدقة كافية، حيث يتطلب تقدير تلك النسبة دراسات مستفيضة توضح الدور الذي تلعبه الجبال في تكوين السيول بالمناطق الجافة. كما قد تتطلب تلك الدراسات إجراء معايرة للنتائج باستخدام قيم سيول مقاسة بتلك المناطق. وتوصي الدراسة الحالية بالتوسع في دراسة الخصائص الجيولوجية للمناطق الجبلية بالأودية، وخصوصا ما يتعلق بالشقوق ودورها في تحديد نسبة مياه الأمطار التي تتحول إلى سيل بالمناطق الجبلية.

***شكر وتقدير***

يتقدم الباحثان بالشكر والتقدير لمقام أمارة منطقة مكة المكرمة على توفير الدعم المادي والمساندة الإدارية لهذه الدراسة، التي كانت ضمن مشروع إعمار عين زبيدة المدعم من قبل الأمارة.

## المراجع

**Abdulrazzak, M.J.** and **Sorman, A.U.** (1994) Transmission losses from ephemeral streams in arid region, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE* **120**: 669-675.

**Abu-Rizaiza, O.S., Ba-Zuhair, A.S., Gutub, S.A., Abu-Rezaiza, A. S., Al-Wagdany, A. S., Al-Ghamdi, A.S.** and **Mohorjy, A. M.** (2001) *Preliminary Study for the Renovation of Ayn-Zubidah in Wadi Namman*, Final Report, Emirate of Makkah District.

**Al-Amoudi, A.O., Mashat A.S., Kiwan M.E.** and **Awadallah S.A**. (1999) *Comparative Study of Reference ET Using Water Balance and Meteorological Data*, King Abdulaziz Univ., Jeddah, Saudi Arabia, Grant No. 417/302.

**Allam M.N.** and **Al-Wagdany, A.S.** (1989) A physically-based runoff prediction model for mountainous watersheds, *Water Resources Management* **3**: 205-230.

**Al-Qurashi A.** and **Herbertson, G.** (1999) Rainfall-runoff relationships in an arid area, case study: Wadi Ahin. Oman, *4th Gulf Water Conference*, 13-17 Feb, Bahrain.

**Al-Wagdany, A. S.** (2008) Rainfall and runoff characteristics of Namman Basin in the Kingdom of Saudi Arabia, *Arab Gulf Journal of Scientific Research,* **26** (1/2):10-18.

**Bauer, H.H.** and **Vaccaro, J.J.** (1987) Documentation of deep percolation for estimating groundwater recharge, *US Geological Survey Open File Report*, pp: 86-536.

**El-Hames A.S.** and **Richards, K.S.** (1998) An integrated physically based model for arid region flash flood prediction capable of simulating dynamic transmission loss, *Hydrological Processes,* **12**: 1219-1232.

**Es-Saeed, M., Sen, Z., Basamad A.** and **Dahlawi A.** (2004) Strategic groundwater storage in Wadi Na'man, Makkah Region, Saudi Arabia, *Tech. Report SGS-TR-2004-1*, Jeddah.

**Gheith, H.** and **Sultan, M.** (2002) Construction of a hydrologic model for estimating wadi runoff and groundwater recharge in the Eastern Desert, Egypt, *Journal of Hydrology,* **263**: 36-55.

**Hussein, J. E.** (1985) Groundwater recharge in Wadi Naaman. *Unpublished M.Sc. Thesis,* Faculty of Earth Sciences, KAU, Jeddah.

**Memon, B.A.** (1995), Quantitative analysis of springs, *Environ. Geol*., **26**: 111-120.

**Ponce, V.M., Pandey, R.P.** and **Kumar, S.** (1999) Groundwater recharge by channel infiltration in El Barbon basin, Baja California, Mexico, *Journal of Hydrology,* **214**: 1-7.

**Scanlon, B. R., Keese, K. E., Flint, A. L., Flint, L. E., Cheikh B. Gaye, C. B., Edmunds, W. M.** and **Simmers, I.** (2006) Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions, *Hydrological Processes,* **20**: 3335-3370.

**Subyani, A.M.** (2004) Use of chloride-mass balance and environmental isotopes for evaluation of groundwater recharge in the alluvial aquifer, Wadi Tharad, western Saudi Arabia, *Environmental Geology,* **46**: 741-749.

**Thiessen, A. H.** (1911) Precipitation averages for large areas, *Mon Weather Rev*., **39**:1082–1084.

**Vancclooster, M. P, Viaene, K. C.** and **Ducheyne, S.** (1996) Water and agrochemicals in soil and vadose environment release 2.1 – Wave model", *Institute for Land and Water Management Katholieke Universiteit Leuven Vital Decosterstraat,* 102, B-3000 Leuven, Belgium.

**Watson, Saudi Arabian Consultant** (1975) *Geophysical Work and Groundwater of Wadi Na'man and Wadi Rahjan, Saudi Arabia*, Unpublished Report, Jeddah.

**Wu, J., Zhang, R. and Jinzhong, W.** (1996) Analysis of rainfall-recharge relationships, *J. Hydrol.,* **17**: 143-160.

# A Preliminary Estimation of Groundwater Recharge in Namman Basin

**Abdullah S. Al-Wagdany** and **Mohammed S. Kiwan**

*Faculty of Meteorology, Environment and Arid Land Agriculture*
*King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia, and*
*Department of Irrigation and Hydraulics, College of Engineering,*
*Cairo University, Cairo, Egypt*
*awagdani@kau.edu.sa & kiwanahmed@hotmail.com*

*Abstract.* In this paper, a simulation of a one-dimensional water movement in soil layers using Wave Model is presented. The model is utilized to investigate the groundwater recharge at varoius soil depths of Namman basin in western Saudi Arabia. The basin was divided into 35 sub-basins and the model was applied to the alluvial soils of the channels of the sub-basins. The study assumed that rainfall on moutainous areas of the basin will be transfered to the channels very fast and added to the direct rainfall as an accumulated water depth on the alluvium. Data of soil properties, soil-water relationship, rainfall and potential evaporation were collected for the study region and used by the model to estimate volumes of surface runoff, abstractions and groudwater recharge. Daily rainfall data for 1975 and 1980 which had largest and smallest annual rainfall depths during the period of the available rainfall records were used in the study. The results of the study indicated that values of infiltration rate were very high in most of the surface soil in the basin and their average was about 98% of rainfall volume. Most of runoff in Namman basin is produced by Yarij sub-basin and about a quarter of the hydrologic abstrations is contributed by Al-Shara sub-basin. Majareesh sub-basin has the largest contribution to groundwater rechage of Namman basin, while Arar and Yarij sub-basins have the smallest contributions. The study suggested a linear realtionship between groudwater recaharge volume and soil depth.