IRAQI Academic Scientific Journals
Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ)
Vol.25, No.2, December 2020, pp. 118-126
ISSN (Print) 1813-0526;
ISSN (Online) 2220-1270

اسلوب المقايضة بالقيمة البديلة (SWT) لعملية اتخاذ القرار في موضوعة تخطيط وإدارة انظمة الموارد المائية

محمد عوني خطاب
m.almukhttar@uomosul.edu.iq

كامل علي عبد المحسن
k.al-mohseen@uomosul.edu.iq

جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم هندسة السدود والموارد المائية

تاريخ الاستلام: 8/7/2020 تاريخ القبول: 22/8/2020

الخلاصة

يعد موضوع ايجاد منهجية موضوعية لعملية صنع القرار في بيئة متعدد الاهداف من مجالات البحث الواسعة في السنوات الأخيرة. بناءً عليه فقد تم تطوير العديد من التقنيات ومن بينها، تقنية طريقة المقايضة بالقيمة البديلة (Surrogate Worth Trade - Off (SWT)) في مجال تخطيط وإدارة الموارد المائية، وهي احدى اساليب التحليل متعدد الاهداف والموصوفة بكونها طريقة تفاعلية. تتضمن هذه الدراسة مراجعة وتطبيق طريقة المقايضة بالقيمة البديلة (SWT) لتشغيل خزان سد الموصل بشكل امثل اذ كان هدف سياسة التشغيل هذه تحقيق هدفين متناقضين هما تحويل الماء من الخزان لأغراض الري واطلاق الماء منه لغرض توليد الطاقة الكهرومائية. كما وتم اجراء مقارنة للنتائج التي رشحت من تطبيق هذه الطريقة وهي (تخصيص 6136 مليون متر مكعب للري و توليد 1572 كيكا واط-ساعة من الطاقة الكهرومائية) مع نتائج البحث [3] الذي استخدمت فيه اربع طرق للحل وهي: طريقة الاوزان، طريقة المحددات، طريقة بلوغ الهدف، بالإضافة الى طريقة الخطوة, فقد أظهرت النتائج أن الطرق المستخدمة أعطت الحل الأمثل هو (تخصيص 5906 مليون متر مكعب للري و توليد 1600كيكا واط-ساعة من الطاقة الكهرومائية) و (6236,1555) و (1558, 6188) و(6121,1568) على التوالي. تبين من المقارنة ان طريقة (SWT) التي تم تبنيها في هذا المبحث كفؤة وواعدة في تحديد سياسة تشغيل نظام خزن منفرد ذو اهداف متنافسة.

الكلمات الدالة:
صنع القرار, المقايضة بالقيمة البديلة, تحليلات متعددة الأهداف, تشغيل الخزانات.

https://rengj.mosuljournals.com
Email: alrafidain_engjournal1@uomosul.edu.iq

==========

1. المقدمة

تتميز عملية اقرار خطة بعينها من قبل صاحب القرار عند التخطيط لأنظمة الموارد المائية بشكل خاص بانها غالباً ما تترافق بتعقيدات جمة ناجمة عن التقاطع الحتمي في مصالح المستفيدين من هذه الانظمة نتيجة لاختلاف الرؤى حولها. لذا فان عملية صنع القرار عادة ما تكون معقدة نسبياً وتتطلب دراسة مستفيضة لينتج عنها قراراً ناضجاً ومقنعاً. كما وتتعقد المشكلة بشكل اكبر عند وجود اكثر من صانع قرار في نفس الوقت. اضف اليها عنصر اللاتأكدية المتأصل في هذا النوع من الانظمة والناتج عن عشوائية المدخلات كالجريان ونمو الطلب على المياه وغيرها والتي تتطلب معالجتها معرفة واسعة بقوانين الاحتمالية وعلم الاحصاء .

تمر عملية التخطيط لأنظمة الموارد المائية بثلاث خطوات متتابعة وتقليدية [1] وهي: 1. **تخصيص قيم** لدوال ذوات الاهداف المتعددة (تكميم الدوال) لغرض تسهيل بناء النموذج الرياضي المناسب وذلك بتبني مقياس كمي (رقمي عادة) خاصة لتلك الدوال التي يصعب تكميمها مثل الاكتفاء الذاتي او الامن الغذائي او تعزيز الوضع الاقتصادي وغيرها والذي يعمل كمؤشر لمدى اداء النموذج باتجاه تحقيق الهدف المحدد. فعلى سبيل المثال لا الحصر لو كان الهدف المحدد هو تقليل مخاطر الفيضان فالحاجة تتطلب وضع معايير رقمية كالمناسيب التي ستغمر نتيجة مرور موجة الفيضان او ارتفاع جدار الحماية (Dike) على ضفة النهر في حين ان حماية ارواح الناس لا يمكن تقديرها بثمن او بشكل رقمي . 2. **بناء النموذج الرياضي** حيث ان الهدف الرئيسي من تحويل استراتيجية تخطيط (مجموعة خطط) معينة الى نموذج رياضي غايته توليد مجموعة من الخطط الفعالة والمستوفية للشروط الفنية والاقتصادية. ان الامر السائد في عملية التخطيط للموارد المائية عادة ما يتم من خلال بناء نموذج متعدد الاهداف وخاصة اذا كان الامر متعلقاً بعملية تشغيل الخزانات المائية والتي تعتبر هي المرتكزات الرئيسية لأي نظام موارد مائية. وقد جرت العادة ان يتم توليد الحلول او الخطط لمثل هذه النماذج بشكل تقليدي من خلال استخدام طريقتي الاوزان والمحددات. ان ما سيرشح من حلول عديدة باستخدام كلا الطريقتين سيؤسس لبناء سطح او منحني باريتو (نسبة الى عالم الاقتصاد باريتو), اذ ان هذا السطح سيستوعب جميع الحلول (الخطط المجدية) والتي من صفاتها (على سبيل المثال في حالة وجود زوج من هذه الدوال) انه لا يمكن زيادة في قيمة احدهما الا ان يكون مترافقاً مع نقصان في قيمة الدالة

الاخرى والعكس صحيح وهذه من اهم خواص سطح باريتو [2].3. تمثل **عملية اختيار** لخطة بعينها الطور الثالث في عملية التخطيط. فعلى الرغم من ان سطح باريتو يضم جميع الخطط المرشحة ,الا ان عملية اختيار خطة بعينها لازالت غامضة وليست سهلة المنال. تطرق الباحثان [3] الى العوائق التي تواجه طريقة تحديد الاوزان عندما تتعلق المسألة بالبحث عن الحل الامثل في بيئة متعددة الاهداف, اذ ان طريقة الاوزان تعاني من امر تحديد قيم للأوزان المقترحة والمرتبطة بكل دالة هدف وان تخصيص قيم بعينها لكل هدف منفرد مسألة جدلية يعتبر البت فيها صعباً. فقد ذكر [1] بأن هذه القيم يجري تحديدها من قبل المؤسسات التي تمول مشاريع الموارد المائية في الدول النامية وحسب رؤية تلك المؤسسات. اضف الى ذلك, ان طريقة الاوزان ومن المنظور الرياضي البحت تتطلب ان يكون سطح باريتو المنوه عنه في اعلاه ان يحمل صفة (Strictly Convex) وهذا الامر ليس مضموناً على الدوام في المسائل التي تعالج انظمة الموارد المائية [4].

وقدر تعلق الامر بالطريقة الاخرى وهي طريقة المحددات, فان تحديد قيم رقمية للطرف الايمن من المحدد يعتبر بحد ذاته تحدياً اذ انه يضمن حصول هذا الهدف (المعبر عنه بشكل محدد Constraint) على قيمة معينة تحت جميع الظروف وهذا ليس بالأمر الهين.

وبالإشارة الى الادوار التي يلعبها كل من صانع القرار والمحلل (الركنان الاساسيان في عملية التخطيط), فأن عملية اختيار خطة ما هي من مهام صانع القرار اذ انه يمتلك الصلاحيات في رفض وقبول اي من الخطط او الخيارات المتاحة في حين يقتصر دو المحلل على الدور الاستشاري, اذ يقوم بعرض الخيارات المجدية على الطرف الاول. و بناءً على ذلك , فأن طور الاختيار هو عنق الزجاجة التي تمر بها عملية التخطيط التي تتسم بالضبابية والذاتية وهي نتاج رؤية صاحب القرار بالدرجة الاولى.

ضمت المنشورات العلمية المتعلقة بهذا الموضوع اقتراح العديد من الاساليب التفاعلية والمنهجية التي تبحث في موضوعة صنع القرار وان قسم من هذه الطرق يصلح بدرجة او بأخرى لتقييم واختيار الحلول التي ترشح من تحليل النماذج الرياضية ذوات الدوال متعددة الاهداف والتي هي موضع اهتمام هذا المبحث. ومن هذه الطرق الهيمنة (dominance), الرضى (satisficing) وغيرها, اذ تمتاز ببساطتها غير انها محدودة الكفاءة. يشير الباحثان الى المصدر [5] الذي سرد هذه الطرق بشكل مستفيض.

ان من الطرق التي لاقت رواجاً في الفترة الاخيرة وجرى تطبيقاها لحل المشاكل المتعلقة بعملية صنع القرار وكيفية اختيار خطة ما من مجموعة خطط تفي جميعها بالمتطلبات التقنية والاقتصادية الا انها تحتاج الى اسلوب مفاضلة منهجي يؤشر احداها على انها الاكثر تفضيلاً من قبل صانع القرار وهي طريقة المقايضة بالقيمة البديلة (Surrogate Worth Trade-off) (SWT) ، فقد قدم [6] مناقشة لمشكلة الدوال متعددة الأهداف غير القابلة للقياس في أنظمة الموارد المائية. حيث عمل الباحثان على تطوير طريقة المقايضة بالقيمة البديلة (SWT). كما تم تطوير وتحليل إجراءات اشتقاق دوال المقايضة ودوال القيمة البديلة مع ذكر الخصائص والمزايا الرئيسية لطريقة المقايضة بالقيمة البديلة على وجه الخصوص، وقدما مسالة (Reid and Vemuri) كدراسة حالة وهي انشاء سد متعدد الاغراض للحصول على ثلاثة اهداف: الحد الادنى للكلفة الاولية للإنشاء وتقليل التبخر من سطح الخزان الى ادنى حد وزيادة حجم الخزين الى الحد الاقصى. تم حل النموذج الرياضي للمسالة عبر طريقة المقايضة بالقيمة البديلة وتطبيق نموذج البرمجة غير الخطية, اثبتت هذه الطريقة امكانيتها في حل نماذج الامثلية ذات الاهداف المتنافسة. كما قدم [7] شرح مفصل عن طريقة المقايضة بالقيمة البديلة (SWT). وقام بتطبيق هذه الطريقة على حوض نهر مومي (Maumee) كدراسة حالة وتم تطوير نموذج خطي يتضمن هدفين وهما: الحد الأدنى من التنمية الاقتصادية ، الحد الأدنى من الجودة البيئية. أظهرت النتائج ان حل التسوية الذي تم الحصول عليه بواسطة طريقة (SWT) يتوافق مع الخطة المستخدمة من قبل مجلس تخطيط واللجنة الاستشارية المسؤولين عن ادارة وتطوير حوض نهر مومي. وعرض [8] بعض الميزات والمفاهيم الأساسية لطريقة المقايضة بالقيمة البديلة (SWT). وتم مراجعة الطريقة ويمكن اعتبارها قياسية إلى حد ما في جميع المجالات. بالإضافة إلى ذلك تم تقديم مثال عددي لتوضيح منهجية هذه الطريقة. كما اجرى [9] دراسة تضمنت دمج الخوارزمية الوراثية متعددة الأهداف مع طريقة المقايضة بالقيمة البديلة (SWT) وتطبيقها على مستجمع مياه نهر سان جواكين بهدف زيادة التصريف إلى أقصى حد وتقليل حمل الملوحة وتعظيم تخصيصات المياه للري. تم محاكاة التصاريف الداخلة وتركيز الملح (EC) في الأنهار باستخدام نموذج (SWAT). وتم ربط نموذج المحاكاة بنموذج (GA) للحصول على سطح باريتو واستخدمت طريقة المقايضة بالقيمة البديلة (SWT) لإيجاد حلول تعزز أداء النظام للأغراض البيئية. وكانت تقييمات الأداء للتنبؤات التي تم الحصول عليها من نموذج محاكاة مستجمع المياه تلبي القيم التي حددها (Moriasi, at. al., 2007) و يمكن اعتبار نموذج المحاكاة دقيقاً.

لغرض استكمال جوانب البحث المقدم من قبل [3] والذي عالج آليات اتخاذ القرار في ظل اللاتاكدية التي تتسم بها هذه الفعالية, اذ اقترح الباحثان اساليب متعددة للاختيار منها طريقة بلوغ الهدف وطريقة (STEP), بالاضافة الى طريقة الاوزان والمحدد, وتم تطبيق هذه الطرق لاستنباط سياسة التشغيل المثلى لخزان سد الموصل, ولمواكبة تطور الآليات وما برزته طرق البحث الحديثة, فقد تم تطبيق (SWT) على مسألة تشغيل خزان سد الموصل التي وردت في البحث اعلاه والخاصة بتخصيص الحصص المائية للهدفين المهمين والمتناقضين في نفس الوقت وهما تخصيص كميات المياه لغرض ري المشاريع الاروائية التي من المفترض ان يخدمها خزان السد وكميات الماء المخصص لتوليد الطاقة الكهربائية عن طريق اطلاق المياه من خلال توربينات السد. وبالنظر للنتائج التي توصل لها [3] فقد توفرت فرصة المقارنة بين النتائج التي رشحت من الدراسة اعلاه وتلك التي تم الحصول عليها من الدراسة الحالية.

2. طريقة المقايضة بالقيمة البديلة (SWT) Surrogate Worth Trade-Off

اقترحت طريقة المقايضة بالقيمة البديلة (SWT) من قبل الباحثان [6]، لاتخاذ القرار في أنظمة الموارد المائية وعملا على تطويرها [10]. لتطبيق طريقة المقايضة بالقيمة البديلة (SWT) هناك اربع خطوات رئيسية وضعها [11] وهي:

الخطوة 1. إعداد مسالة متعددة الاهداف ويتم تحديد الحل المثالي لكل هدف من أهداف المسالة من خلال تعظيم كل هدف فردي باستخدام نموذج امثلية مستقل بغض النظر عن قيم الأهداف الأخرى. فإذا كان عدد الأهداف هو k فإن الصيغة الرياضية للنموذج h هي كما يلي:

$$\text{Maximize } F_h(x) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Subject to:

$$g_i(x) \le 0;\ i = 1, 2,...,m \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$h=1, 2,\ldots.., k$$

حيث :

$F_h(x)$: هي دالة الاهداف الفردية.

$g_i(x)$: هي المحددات التي تخضع لها المسألة.

على الرغم من أن هذه النقاط لا يمكن الوصول إليها في التحليلات متعددة الأهداف، ولكن يمكن أن نرى اهميتها في التحليلات التي تتضمنها الطريقة المستخدمة في هذه الدراسة.

الخطوة 2. استخدام طريقة Є- المحدد (Є-constraint) حيث يتم تحويل (k-1) من دوال الاهداف الى محددات، كما هو موضح ادناه:

$$\text{Maximize } F_p(x) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

s.t.

$$F_j(x) \ge Є_j \quad ;\ \text{for all } j = 1,\ldots,k,\ j\neq p \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

In addition to equation (2).

حيث:

$F_p(x)$: هي دالة الهدف الاساسي.

$F_j(x)$: هي دوال الأهداف الأخرى.

$Є_j$: هي المستويات المستهدفة لدوال الأهداف الأخرى ويتم تحديد النطاقات الممكنة لهذه المستويات من الحل المثالي.

يتم تحديد وتوليد مجموعة من حلول (Pareto) المثلى وذلك بتغيير قيم ($Є_j$). يمكن تعريف حلول (Pareto) المثلى في هذه الحالة بانها تلك الحلول التي قيم دوال المقايضة المقابلة لها لا تساوي صفر ($\lambda_{pj} = - dF_p(x)/dЄ_j$). ان مجموعة مضاعفات (Lagrange) غير الصفرية هي مجموعة نسب المقايضة (λ_{pj}) بين الهدف الرئيسي وكل من الأهداف المحددة, وهذه المضاعفات (Lagranges) هي دوال المستوى الأمثل الذي تحققه دالة الهدف الرئيسية.

الخطوة 3. التفاعل مع صانع القرار لتقييم دالة القيمة البديلة (W_{pj}) شريطة أن تكون قيم الاهداف (F_k ، ...، F_p) ودالة المقايضة (λ_{pj}) قد تم تقديمها له مسبقاً . توفر دالة القيمة البديلة واجهة بين صانع القرار والمحلل/ النموذج الرياضي. ان قيمة دالة القيمة البديلة (W_{pj}) ماهي الا تقييم صانع القرار (على سبيل المثال وعلى المقياس الترتيبي، من 10- إلى 10+ ، اما الصفر يشير الى التفضيل المتساوي اي ان صاحب القرار له نفس التفضيل لجميع الاهداف التي تتبناها الخطط تحت الدراسة)، فهو قد يفضل تداول وحدات ($\boldsymbol{\lambda}_{pj}$) من ($F_p$) لواحد وحدة لـ ($F_j$)، لقيم جميع الأهداف (F_k،...، F_p) المقابلة لـ ($\boldsymbol{\lambda}_{pj}$). كما ويجب ملاحظة أن ($W_{pj} > 0$) تعني أن صانع القرار يفضّل إجراء مثل هذه المقايضة و ($W_{pj} > 0$) تعني أنه لا يفضّل و ($W_{pj} = 0$) تعني أن صانع القرار لا يمانع إجراء مثل هذه المقايضة كحل تسوية.

ذكر[7] ان هناك ثلاث طرق يمكن ان يقدمها المحلل الى صانع القرار لتمكنه من تحويل حلول (Pareto) المثلى الى قيم بديلة (W_{pj}) حسب الفضاء الذي يتم اختياره وكالاتي:

1. العمل في فضاء متغيرات القرار (x_n، ...، x_1).
2. العمل في فضاء دوال المقايضة (λ_{pk} ، ...، λ_{pj}).
3. العمل في فضاء دوال الاهداف (F_k ، ...، F_p).

لذا يمكن أن يكون لدينا (x_n، ...، x_1) W_{pj} أو (λ_{pk} ، ...، λ_{pj}) W_{pj} أو (F_k ، ...، F_p) W_{pj}.

ونظراً لكون الخيار(1) اعلاه عادة ما يتضمن الكثير من متغيرات القرار لذا يعتبر العمل في هذا الفضاء مربك نسبياً لكل من المحلل وصاحب القرار على حد سواء, كما ويمكن التعويل على الخيار(2) وذلك بتبني حل للتسوية الذي يعطي قيمة لـ ($W_{pj} = 0$ =). يبدو ان الخيار (3) الذي يعول على العمل في فضاء دوال الهدف هو الاقرب لكلا طرفي التخطيط نظراً لمحدودية عدد الاهداف في المشكلة المراد دراستها اضافة الى سهولة فهم قيم دوال الهدف من قبل صانع القرار.

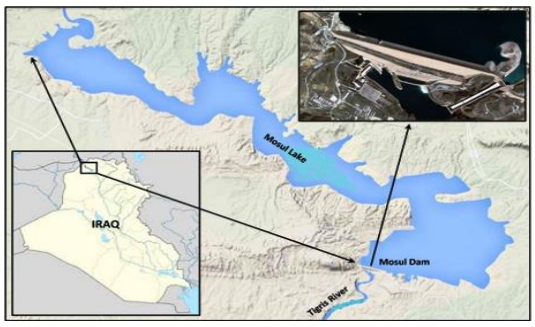
الخطوة 4.عزل حل التسوية الذي يعطي ($W_{pj} = 0$) لجميع قيم الاهداف (j) , غيران عملية التوصل الى الحل الذي تقابله قيمة ($W_{pj} = 0$) بالضبط لن يكون متاحاً في اغلب الاحيان, لذا عادةً ما يتم تطوير علاقات تقريبية لجميع قيم دوال الاهداف باستخدام طريقة الانحدارغير الخطي (Nonlinear Regression) لدالة القيمة البديلة ($\hat{W}_{pj}(F_j)$) والتي يتم من خلالها ايجاد القيم التقريبية للأهداف التي تعبر عن حل التسوية المطلوب وهذا ما تم عمله في هذا البحث.

3. خزان سد الموصل متعدد الاغراض

يعد سد الموصل أحد أهم مشاريع الموارد المائية في العراق ويقع على نهر دجلة شمال غرب مدينة الموصل ويبعد حوالي (55Km) عن المدينة، على خط العرض ("36º37'44) شمالاً وخط الطول ("42º49'23) شرقاً كما مبين في الشكل (1). وهو عبارة عن سد ترابي بشكل هرم ناقص قاعدته بعرض (620 m) وعرض الجزء العلوي (10 m) وارتفاعه (113m) وطوله (3650 m) بما في ذلك (50 m) للمسيل المائي الذي يتكون من خمس بوابات للتحكم. يستخدم خزان سد الموصل لأغراض متعددة منها (التحكم في الفيضان وري اجزاء كبيرة من منطقة الجزيرة وتوليد الطاقة الكهرومائية وتنمية الثروة السمكية وتطوير السياحة). ان من اهم الاهداف الرئيسية التي ساهمت في انشاء سد الموصل هو تجهيز متطلبات الري لمشاريع ري الجزيرة و توليد الطاقة الكهرومائية وهما غرضين تشغيليين متنافسين على الخزين المتاح في الخزان وفيما يأتي توضح لهذين الهدفين:

ا. الري: تجهيز متطلبات الري لثلاثة مشاريع رئيسية. وهي مشاريع الجزيرة الشمالي والشرقي والجنوبي, بمساحة كلية تقدر بـ (332500 ha) وتصريف كلي للقنوات الرئيسية (230 m^3/s).

ب. توليد الطاقة الكهرومائية: تنظيم تجهيز المياه من الخزان لتسهيل توليد الطاقة الكهرومائية ، حيث تبلغ سعة التوليد القصوى (750 MW). مع ملاحظة أنه يمكن أيضاً استخدام المياه المنبعثة من توليد الطاقة لري المزيد من الأراضي الواقعة أسفل السد.



الشكل(1): يوضح الموقع الجغرافي لسد الموصل.

4. صياغة النموذج الرياضي

$$\text{Maximize } Z = \sum_{i=1}^{12} Ii \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

$$\text{Maximize } E = \sum_{i=1}^{12} 2725 * 10^{-6} * R_i * H_i * \eta \quad \ldots (6)$$

Subject to:

$$S_{i+1} = S_i + Q_i - I_i - R_i - E_i + Rn_i - O_i \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

$$S_{min} \le S_i \le S_{max} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

$$I_{min} \le I_i \le I_{max} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

$$R_{min} \le R_i \le R_{max} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

يعتمد اقصى معدل شهري للتصريف يمكن اطلاقة من منافذ توليد الطاقة الكهرومائية على ارتفاع منسوب الماء في الخزان ويمكن حسابه من العلاقة التالية:

$$R_{max} = Cd * A * \sqrt{2 * g * H_i} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

حيث:

Z : إجمالي حجم المياه المحولة لمشاريع ري الجزيرة خلال السنة (MCM) .

I_i : معدل تجهيز المياه الشهري لمشاريع ري الجزيرة خلال الشهر(i) (MCM).

E : إجمالي الطاقة الكهرومائية المولدة خلال السنة (GWhr).

R_i : معدل الإطلاق الشهري للطاقة الكهرومائية خلال الشهر (i) (MCM).

H_i المعدل الشهري لارتفاع الماء في الخزان عن التوربين خلال الشهر (i) (m).

ŋ : كفاءة تشغيل محطة التوليد, وقد فرضت (80%).

S_i : حجم المياه المخزونة في الخزان نهاية الشهر (i) (MCM).

E_i : معدل حجم المياه المفقودة بالتبخر من سطح الخزان خلال الشهر (i) (MCM).

Rn_i : معدل حجم المياه المضافة من الامطار الساقطة على سطح الخزان خلال الشهر (i) (MCM).

O_i : معدل حجم المياه المفقودة من المنفذ السفلي والمسيل المائي خلال الشهر (i) (MCM).

S_{min} : ادنى خزين تشغيلي (MCM) .

S_{max} : اقصى خزين تشغيلي (MCM) .

Q_i : معدل حجم المياه الداخلة الى الخزان خلال الشهر (i) (MCM).

I_{min} : الحد الأدنى من المتطلبات المائية للري خلال الشهر (i) (MCM).

I_{max} : الحد الأقصى من المتطلبات المائية للري خلال الشهر (i) (MCM).

R_{min} : الحد الادنى للإطلاق ويمثل المتطلبات المائية الشهرية للمناطق الواقعة اسفل خزان خلال الشهر (i) (MCM).

R_{max} : الحد الأقصى للإطلاق من منافذ توليد الطاقة الكهرومائية خلال الشهر (i) (MCM).

Cd: معامل التصريف ويساوي 0.6.

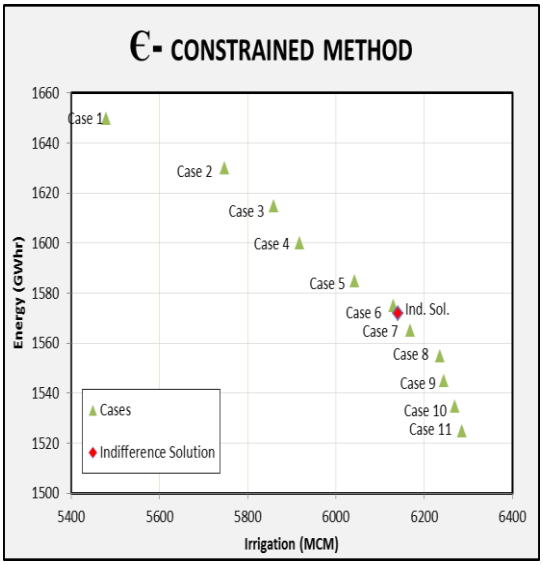
A: مساحة مقطع انبوب التجهيز (m^2).

g: التعجيل الارضي (m/s^2).

تجدر الاشارة الى انه قد استخدام الخوارزميات الوراثية (GA's) لغرض ايجاد الحل الامثل للنموذج الرياضي اعلاه.

5. النتائج والمناقشة

تم تطبيق طريقة Є – المحدد على النموذج الرياضي، حيث تم اعتماد دالة الهدف الأساسية $F_p(x)$ وهي اعلى كمية مياه محولة لغرض الري Z. وبذلك امكن الحصول على مجموعة مكونة من احدى عشرة حالة وذلك بتغيير الحدود الدنيا لإنتاج الطاقة الكهرومائية ($Є_2$) في المحدد $F_j(x)$ وتم اعادة حل المسالة لكل حالة للحصول على مجموعة من الحلول المثلى التي يتم من خلالها تشكيل واجهة باريتو كما هو موضح في الشكل (2) فيما يبين الجدول (1) نتائج هذه الحالات اضافة الى دوال المقايضة (λ_{12}) المتعلقة بها.



الشكل (2): سطح باريتو بطريقة **Є** – المحدد.

الجدول (1): نتائج طريقة المقايضة بالقيمة البديلة لكل من (قيم دوال الاهداف وقيم دوال المقايضة والدوال البديلة).

Alternative	$Є_2$ GWhr	Z MCM	λ_{12} (MCM/ GWhr)	$c\lambda_{12}$ (MCM/ GWhr)	W_{12}
Case 1	**1650**	**5490**	**11.18**	**0.111**	**-10**
Case 2	**1630**	**5748**	**9.632**	**0.096**	**-8**
Case 3	**1615**	**5860**	**8.471**	**0.047**	**-6**
Case 4	**1600**	**5917**	**7.31**	**0.073**	**-5**
Case 5	**1585**	**6043**	**6.149**	**0.061**	**-3**
Case 6	**1575**	**6130**	**5.375**	**0.053**	**-1**
Case 7	**1565**	**6170**	**4.601**	**0.046**	**+2**
Case 8	**1555**	**6236**	**3.827**	**0.038**	**+5**
Case 9	**1545**	**6246**	**3.053**	**0.03**	**+7**
Case10	**1535**	**6270**	**2.279**	**0.022**	**+9**
Case 11	**1525**	**6286**	**1.505**	**0.015**	**+10**

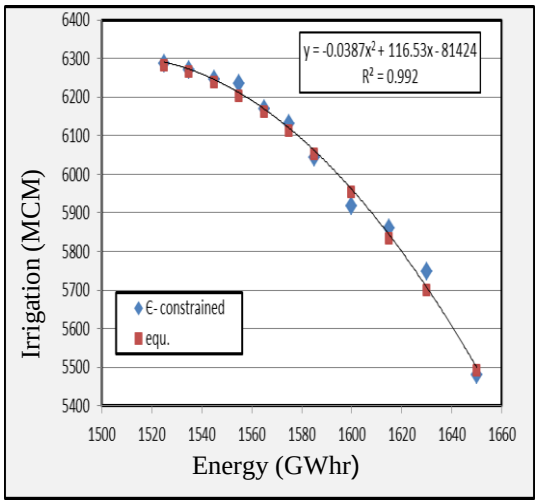
وبالنظر لكون شروط (Kuhn-Tucker) التي تعول على حساب مضاريب Lagrange هي معقدة نوعاً ما للمشكلة قيد الدرس, اذ ان من الصعوبة بمكان ان يتم استخدامها لاشتقاق جميع نسب المقايضة كدوال صريحة لمتغيرات القرار, لذا تم اللجوء لحل هذه المشكلة باستخدام تقنية برامجية مناسبة الا وهي الخوارزميات الوراثية اسوة بـ [9], كما تبينه المعادلة (12) ادناه.

$$Z = -0.0387*Є_2\text{^}2 + 116.53*Є_2 - 81424 \quad \text{..... (12)}$$

كما وتم التوصل الى معادلة تقريبية لدالة المقايضة (λ_{12}), اذ استخدمت البيانات المتوفرة من نتائج طريقة **Є** - المحدد وكما هو مبين في الشكل (3) ووجد بان المعادلة تأخذ الشكل:

$$\lambda_{12} = -(dZ/dЄ_2) \quad \text{..... (13)}$$

$$dZ/dЄ_2 = 2*(-0.0387*Є_2) + 116.53 \quad \text{..... (14)}$$



الشكل (3): العلاقة بين الري والطاقة المولدة.

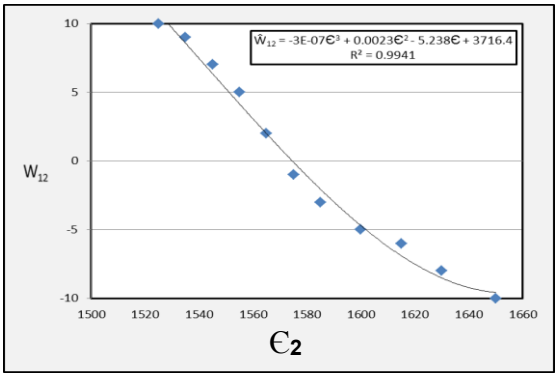
تظهر المقارنة في الشكل (3) بين قيم نتائج طريقة **Є** - المحدد والقيم الناتجة من المعادلة التجريبية مدى تقارب النتائج اذ كان معامل الارتباط (R^2=0.992) , ولغرض ايجاد دالة المقايضة (λ_{12}).

وبالتعويض عن ($Є_2$) في المعادلة (14) تم الحصول على قيم المقايضة (λ_{12}) لكل حالة, كما موضح في العمود الرابع من الجدول (1), وبسبب زيادة قيم المقايضة (λ_{12}) الناتجة من الخطوات اعلاه فقد تم استخدام عامل التحجيم (c = 0.01) ليساعد في سهولة التفاعل مع صانع القرار كما اقترح من قبل [12].

بالإمكان توضيح منهجية التفاعل بين المحلل وصانع القرار من خلال اقتراح سيناريو افتراضي يتعلق بالحالة الاولى case-1, اذ وبعد ان تم ايجاد المقايضة لكل حالة (λ_{12}) من الحالات الـ (11)، يتم التفاعل مع صانع القرار عن تقييمه (على سبيل المثال) لزيادة مقدارها (11.18 MCM) لصالح هدف الري مقارنة بانخفاض مقداره (1 GWhr) من الطاقة المولدة، المعروضة في الجدول (1) الوارد اعلاه اذ ان قيمة الري هي (5490 MCM) والطاقة المولدة (1650 GWhr). ولبيان ردود فعل صاحب القرار على ذلك مما يتيح التوصل لجدول افضليات صانع القرار مرتباً حسب اهميتها ومن وجهة نظر الاخير (يشار هنا الا ان وجهة نظر صاحب القرار تعبر عن رؤيته البحتة وفيها نوع من الذاتية التي تتوافق مع رؤيته الشخصية). وبالرجوع الى

ما آلت اليه الحالة (1) فعلى الرغم من ان صانع القرار يرغب بخطة تشغيل للخزان ينتج عنها طاقة كهربائية عالية نسبياً الا ان هذه الخطة قد افرزت بالمقابل قيمة متدنية لكمية مياه الري المحولة والبالغة (5490 MCM), لذا فأنه على الارجح سيقوم بتعيين قيمة سالبة لدالة القيمة البديلة (W_{12}) وليكن مقدارها (10-) (على مقياس -10 الى +10) اي انه لا يرغب بإجراء هذه المفاضلة. كذلك يقوم، صانع القرار بتخصيص قيمة ولتكن (6-) لدالة القيمة البديلة (W_{12}) لسياسة التشغيل في الحالة 3 وهي اكبر من نظيرتها المخصصة للحالة 2 والتي خصص لها (8-) لكونه لا يزال يرغب بزيادة الري غير ان قيمة الطاقة بدأت بالتدهور مما يثير قلقه. اضف الى ذلك وبنفس المنطق يقوم صانع القرار بتعيين قيمة موجبة لدالة القيمة البديلة (W_{12}) مقدارها (10+) لسياسة التشغيل في الحالة 11، لأنه يرغب بتحقيق كمية اكبر من المياه المخصصة للري غير ان ذلك يؤدي الى تردي كمية الطاقة المولدة. (يمكن ملاحظة ان القيم البديلة هي ناتجة عن رؤية صانع القرار الميالة نسبياً الى هدف التوصل الى اعلى كميات مياه محولة لغرض الري حيث ان دالة الهدف التي اعتمدها المحلل كانت تعظيم كميات المياه المحولة لغرض الري في حين ان هدف الطاقة الكهرومائية قد اعتبر محدد وليس دالة هدف في النموذج الرياضي المتبنى من قبل المحلل) لهذا كانت قيمة الرفض (10-) لصانع القرار عند اقل قيمة للري وهي الحالة 1 و قيمة اعلى تفضيل (10+) لصانع القرار عند اعلى قيمة للري وهي الحالة 11, اما لو تم اعتماد إنتاج الطاقة الكهرومائية كهدف اساسي للنموذج فان صانع القرار في هذه الحالة سيخصص قيمة الرفض (10-) للحالة 11 لأنها اعطت اقل قيمة لإنتاج الطاقة ويخصص اعلى قيمة للتفضيل (10+) للحالة 1. يتبين من هذا ان في كلا الحالتين حل التفضيل المتساوي او حل التسوية (W_{12} = 0) سوف لن يتغير وهو واقع بين الحالتين 6 و 7 بغض النظر عن دالة الهدف المتبناة من قبل المحلل.

تم إنشاء العلاقة بين القيمة البديلة (W_{12}) و (ϵ_2) كما هي موضحة في الشكل (4). يتبين من المعادلة ان الطاقة المولدة المقابلة لـ ($\hat{W}_{12}$ = 0) هي (F_2 = 1572 GWhr). وعند حل المسالة بالتعويض عن قيمة محدد الطاقة المولدة كانت قيمة الري الناتجة (F_1 = 6141 MCM). ويوضح الجدول (2) سياسة التشغيل-1 الناتجة على أساس شهري والتي يتم عرضها على صانع القرار.



الشكل (4): العلاقة بين القيمة البديلة (W_{12}) و(F_2 اوϵ_2).

الجدول (2): معدلات الخزين والإطلاق والطاقة المولدة لسياسة التشغيل -1.

Month	Storage (MCM)	Release irrigation (MCM)	Release hydropower (MCM)	Energy (GWhr)
Oct	**6784**	**417**	**388**	**53**
Nov	**6512**	**417**	**338**	**45**
Dec	**6573**	**417**	**340**	**46**
Jan	**6940**	**419**	**347**	**47**
Feb	**7572**	**417**	**343**	**48**
Mar	**8710**	**568**	**355**	**52**
Apr	**10281**	**525**	**1568**	**241**
May	**11092**	**590**	**2386**	**381**
Jun	**11079**	**591**	**721**	**115**
Jul	**10806**	**593**	**555**	**87**
Aug	**10030**	**592**	**868**	**132**
Sep	**8259**	**595**	**2265**	**325**
Total	**104638**	**6141**	**10473**	**1572**

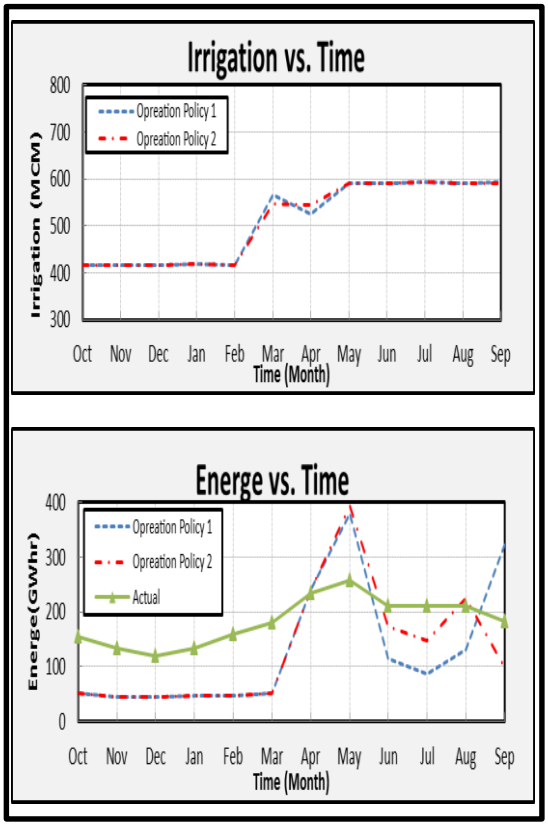
بعد الاطلاع على نتائج سياسة التشغيل-1 في الجدول (2) وهي متغيرات قرار, نلاحظ ان قيم الطاقة المولدة في اشهر (6 و 7 و 8) قليلة نسبياً وليست متوافقة مع زيادة الطلب على الطاقة اذ يكون الطلب على اشده في هذا الفصل. من البديهي ان احد السيناريوهات المتوقعة ان يوجه صانع القرار بتحري امكانية زيادة هذه الطاقة في هذه الفترة بالتحديد (هو ايضاً سيناريو افتراضي منطقي), وبناءاً على ذلك فقد تم اضافة محدد لكمية المياه المطلقة للتوليد في الشهر (9) على ان لا يتجاوز (700 MCM) وتم اعادة حل المسالة اذ كانت قيمة كمية مياه الري المحولة والناتجة من النموذج الرياضي هي (F_1 = 6136 MCM) اي انه تم تخفيض الكمية بمقدار (5 MCM) عن قيمة كمية مياه الري الناتجة من سياسة التشغيل-1. ان من الممكن ملاحظة ان قيمة الري الجديدة تقع بين (6170 , 6130). وبما ان القيمة البديلة (W_{12}) المقترحة من قبل صانع القرار للقيم (6170 , 6130) هي (2+, 1-) على التوالي، لذا تعد قيمة كمية مياه الري الناتجة (F_1 = 6136 MCM) ضمن المدى المقبول لعدم ممانعة صانع القرار على تلك الكمية من جهة ووجود تحسن في قيم الطاقة المولدة لهذه الاشهر. وعليه تكون القيمة البديلة ($\hat{W}_{12}$ = 0) عند قيمة الطاقة المولدة (F_2 = 1572 GWhr) وقيمة كمية مياه الري (F_1 = 6136 MCM) هو افضل حل تسوية يمكن ان يقتنع به صانع القرار. لقد تم توضيح ذلك في الشكل (2) الذي يمثل سطح باريتو. كما ويوضح الجدول (3) سياسة التشغيل- 2 الجديدة الناتجة عن حل التسوية على أساس شهري. في حين يبين الشكل (4) مقارنة قيم حل التسوية الناتجة من سياسة التشغيل -2 الجديدة مع سياسة التشغيل-1 لكل من (المياه المحولة للري والطاقة المولدة).

بالإضافة الى ذلك ، فقد تم مقارنة المعدل الشهري للطاقة الفعلية المولدة من خزان سد الموصل خلال نفس الفترة مع ما افرزته سياسة التشغيل-1 وسياسة التشغيل-2 حيث يتبين ان التوافق المقبول من حيث النمط المتبع في عملية توليد الطاقة الفعلية مع النمط الناتج من سياسة التشغيل-2 التي تكافئ حل التسوية

المقترح. ان سبب وقوع منحني الطاقة المولدة الفعلية فوق المنحنيين الاخرين يعود لعدم وجود مياه محولة للري آنذاك.

الجدول (3): معدلات الخزين والإطلاق و الطاقة المولدة باتباع سياسة التشغيل-2.

Month	Storage (MCM)	Release irrigation (MCM)	Release hydropower (MCM)	Energy (GWhr)
Oct	**6784**	**417**	**388**	**53**
Nov	**6512**	**417**	**338**	**45**
Dec	**6573**	**417**	**340**	**46**
Jan	**6940**	**419**	**347**	**47**
Feb	**7572**	**417**	**343**	**48**
Mar	**8720**	**548**	**355**	**52**
Apr	**10287**	**545**	**1575**	**242**
May	**11040**	**590**	**2477**	**394**
Jun	**10788**	**591**	**1106**	**174**
Jul	**10118**	**593**	**964**	**147**
Aug	**8799**	**592**	**1546**	**226**
Sep	**7474**	**590**	**700**	**98**
Total	**101608**	**6136**	**10478**	**1572**



الشكل (4): مقارنة قيم حل التسوية الناتج عن طريقة المقايضة بالقيمة البديلة لسياسة التشغيل -2 الجديدة مع سياسة التشغيل -1 لكل من (المياه المحولة للري والطاقة المولدة). والمعدل الشهري للطاقة الفعلية المولدة من خزان سد الموصل خلال نفس الفترة الزمنية.

6. الاستنتاجات

تضمنت الدراسة الحالية تطبيق احدى اساليب التحليل متعدد الاهداف والموصوفة بكونها طريقة تفاعلية الا وهي طريقة المقايضة بالقيمة البديلة (SWT) لتحديد كيف يمكن أن تسهل هذه الطريقة عملية صانع القرار في اختيار سياسة التشغيل المناسبة خلال المراحل الأولى من عملية التخطيط وذلك من خلال التفاعل المباشر للتعامل مع الأهداف المتنافسة. تم الحصول على التحليل متعدد الأهداف باستخدام الخوارزميات الوراثية (GA's) ووجد انها تقنية فعالة في تخصيص الحل الأمثل في بيئة تنطوي على أهداف متضاربة .

ولغرض اكتمال الفائدة من البحث الحالي فقد تم اجراء مقارنة للنتائج مع نتائج البحث [3] الذي تم فيه تطبيق اربع طرق) لتشغيل خزان سد الموصل بشكل امثل وهي: طريقة الاوزان، طريقة المحددات، طريقة بلوغ الهدف، بالإضافة الى طريقة الخطوة, حيث تبين ان طريقة (SWT) التي تم تبنيها في هذا المبحث اعطت نتائج للهدفين المتنافسين بالمقدارين (6136,1572) وهما افضل من النتائج المستحصلة من طريقة الاوزان اذ كانت (1600, 5906) ويمكن ملاحظة ذلك من خلال النظر الى الجدول (1) أعلاه الحالة 4 حيث اعطت قيمة للري اعلى وهي (5917) عند نفس قيمة الطاقة المتولدة. اما النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام طريقة المحدد فقد كانت (6236,1555) وهي مطابقة للحالة 8 في الجدول (1) والتي لها قيمة مقايضة (λ_{12}) تساوي (3.827) وهي اقل من قيمة مقايضة حل التفضيل المتساوي لصانع القرار والتي تساوي (5.14), فيما يتعلق بطريقة بلوغ الهدف والتي اعطت نتائج (1558، 6188), فيمكن ملاحظة زيادة لقيمة كمية مياه الري بمقدار (52 MCM) مقابل خسارة في الطاقة تقدر بـ(14GWhr) وهي مقايضة غير مجزية بالتأكيد, في حين اعطت طريقة الخطوة (STEP) (1568، 6121) وهو اقل من طريقة (SWT) للهدفين .

أوضح التحليل أن طريقة (SWT) تفوقت على نظيراتها من حيث الحصول على حلول أكثر موثوقية في تخصيص المياه للهدفين المتنافسين لخزان سد الموصل وذلك لاعتمادها على طريقة Є- المحدد في حل النموذج وانشاء سطح باريتو وقد انتجت مستويات للاهداف اعلى من اغلب الطرق المطبقة في البحث [3], ولكونها طريقة تفاعلية فان بإمكانها ان تدعم صانع القرار في إيجاد الحل الذي يتناسب مع تفضيلاته وذلك من خلال اعتمادها على اسلوب مفاضلة منهجي يتمثل في دالة المقايضة (λ_{pj}) ودالة القيمة البديلة (W_{pj}) اللتان يتم من خلالهما عملية اتخاذ القرار لاختيار الحلول وهذا ما لم نلحظة في الطرق المطبقة في البحث [3]. لذا تعد طريقة (SWT) كفؤة وواعدة في تحديد سياسة تشغيل نظام خزن منفرد ذو اهداف متنافسة.

7. المصادر

[1] Loucks, D. P., J. R. Stedinger, and D. A. Haith, "Water Resource Systems Planning and Analysis", *Prentice-Hall, N. J.* 1981.

[2] Lampinen, Jouni. "Multiobjective Nonlinear Pareto-Optimization." In , 31, 2000.

[8] Kazemi, M, and Shooshtarian, Z., "Surrogate Worth Trade Off Method ' S Review , Surrogate Worth Trade-Off (SWT) Method", 8(January 2013): 98–109,2013.

[9] Akhbari, Masih, and Grigg, Neil S., "Water Management Trade-Offs between Agriculture and the Environment : A Multiobjective Approach and Application", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2014.

[10] Hall, Warren A., And Haimes,Yacov Y., "The Surrogate Worth Trade-Off Method With Multiple Decision-Makers", Springer-Verlag Berlin: 207–33, 1976.

[11] Beckmann, M., and Kunzi, H. P., "614 Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems", Preface, 2008.

[12] Iwasawa, Aria, Naohiko Kohtake, Nobuaki Minato, and William Crossley, "Investigating the Surrogate Worth Trade-off Method to Facilitate Technology Selection for New Systems", Topics in Safety, Risk, Reliability and Quality 24(February 2019): 339–49, 2014.

[3] Khattab, Mohammed Awni and Al-Mohseen, Kamel A., " Planning and Decision Making Under Uncertainty (Mosul Reservoir Optimal Operating Policy- Case Study)", Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ),25(1): 89-100, 2020.

[4] Hutchison, David, and Mitchell, John C., "Multiobjective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches", 5252 LNCS Lecture Notes in Computer Science, 2008.

[5] Coello, Carlos A Coello et. al., "Search Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems", Second Edition Genetic and Evolutionary Computation Series Series Editors, 2007.

[6] Haimes, Yacov Y., and Hall, Warren A., "Multiobjectives in Water Resource Systems Analysis: The Surrogate Worth Trade Off Method", Water resources research, 10(4): 615-24, 1974.

[7] Haimes, Yacov Y., "The Surrogate Worth Trade-Off (Swt) Method And Its Extensions", Springer-Verlag Berlin: 85–110, 1980.

Surrogate Worth Trade - Off (SWT) Method and the Decision-Making Process in Water Resources Planning and Management

Mohammed Awni Khattab
m.almukhttar@umosul.edu.iq

Kamel A. Al-Mohseen
k.al-mohseen@umosul.edu.iq

Dams and Water Resources Engineering Department, Collage of Engineering, University of Mosul

Abstract

Multi-objective decision-making methodologies are one among widely researched areas in recent years. As a result, many technologies have been developed. Among these, is Surrogate Worth Trade - Off (SWT). SWT has emerged in the areas of water resource planning and management, and is one of the multi-objective analysis methods described as an interactive method. This study includes reviewing and applying (SWT) method to optimally operate the Mosul Dam Reservoir. This operation policy sought to achieve two contradictory objectives: diverting water from the reservoir for irrigation purposes and releasing water from it for the purpose of hydropower generation. A comparison was also made of the results that were nominated from the application of this method, namely (allocating million cubic meters/ year for irrigation and generating 1572 GW-hour/year for power generation) with the results of the research [3] which four methods for solutions have been implemented. These are: weights, constraints, goal attainment, and step method. The results reveal that the used methods gave the optimal solution by (allocating 5906 million cubic meters/ year for irrigation and generating 1,600 GW-hour/year for power generation), (6236 ,1555) , (6188 ,1558) and (6121 , 1568) respectively. from the comparison It can be concluded that (SWT) is an efficient and promising method in identifying an operating policy for a single reservoir system with competing objectives.

Key words:

Decision-making; Surrogate Worth Trade - Off (SWT); multi-objective analyzes; Reservoir operation.