طرق مواجهة الارتفاع المحتمل لمستوى سطح البحر كوسيلة لزيادة فرص التنمية المستدامة بشمال دلتا النيل

د. عباس الزعفرانى
كلية التخطيط العمراني والإقليمى - جامعة القاهرة

الملخص

يمثل احتمال ارتفاع منسوب سطح البحر نتيجة ارتفاع حرارة الأرض خطرا يهدد الأراضى المنخفضة بالغرق، بما فى ذلك شمال دلتا النيل، وهو ما يهدد قيما اقتصادية وسكانية وتراثية كبرى. ورغم تعدد الأدلة على ارتفاع درجة حرارة الأرض، اختلف العلماء فى أسبابها وفى التنبؤ بمقدار ارتفاع الحرارة ومنسوب سطح البحر مستقبلا، أما دلتا النيل فقد تراوحت مواقفهم نحوها بين الإيمان بحتمية الغرق وضرورة تهجير السكان منها، وبين إنكار الخطر تماما وتجاهل وجوده.
ويحاول البحث الخروج من الجدل حول وجود المشكلة إلى مناقشة وجود الحلول، طارحا السؤال:

هل يجب أن تتوقف التنمية فى شمال الدلتا تماما نظرا لوجود خطر محتمل بغرقها وفقدان الاستثمارات التى تنفق فيها؟ أم أنه توجد طرق هندسية وتخطيطية لحماية شمال الدلتا من الغرق؟ مما يسمح بالحفاظ عليها وتنميتها بأسلوب مخطط.
فيتعامل البحث مع فرض جدلى بأن منسوب سطح البحر سيرتفع مترا كاملا خلال قرن واحد، فيستعرض بعض الحلول المقترحة ويصنف ويناقش فرصها فى النجاح اعتمادا على الأسس العلمية النظرية أو التجارب العملية فى مصر والعالم. بهدف إثبات أن المشكلة "لها حل".

وقد تم تصنيف التقنيات الهندسية والتخطيطية تحت أربعة استراتيجيات رئيسية هى: رفع منسوب اليابس، أو خفض منسوب البحر، أو الفصل بينهما بسدود. أو تخطيط الأراضى وتوظيف المناطق المغمورة بالمياه.

وتتعدد هذه التقنيات، فيمكن صيانة الشواطئ الرملية الطبيعية وهى سدود ديناميكية ترتفع تلقائيا مع منسوب البحر لحماية واجهة الدلتا البحرية، وبمساعدة بعض التقنيات منخفضة التكلفة مثل حواجز الأمواج الركامية يمكن مساندة العمليات الطبيعية لترسيب الرمال لرفع الشاطئ الرملى وتخفيض المستوى المؤثر للأمواج. كما يمكن رفع الأراضى حول البحر والبحيرات بالردم، وإنشاء شبكة من الجسور والأحواض لحماية الأراضى أثناء العواصف. مع الحماية من التسرب الجوفى لمياه البحر بشبكة مصارف تنتهى بخندق عميق مواز للساحل يربط البحيرات ويتخلص من مياهه بالبخر من سطحها. وتحويل الأراضى التى لا يمكن حمايتها إلى مزارع سمكية.

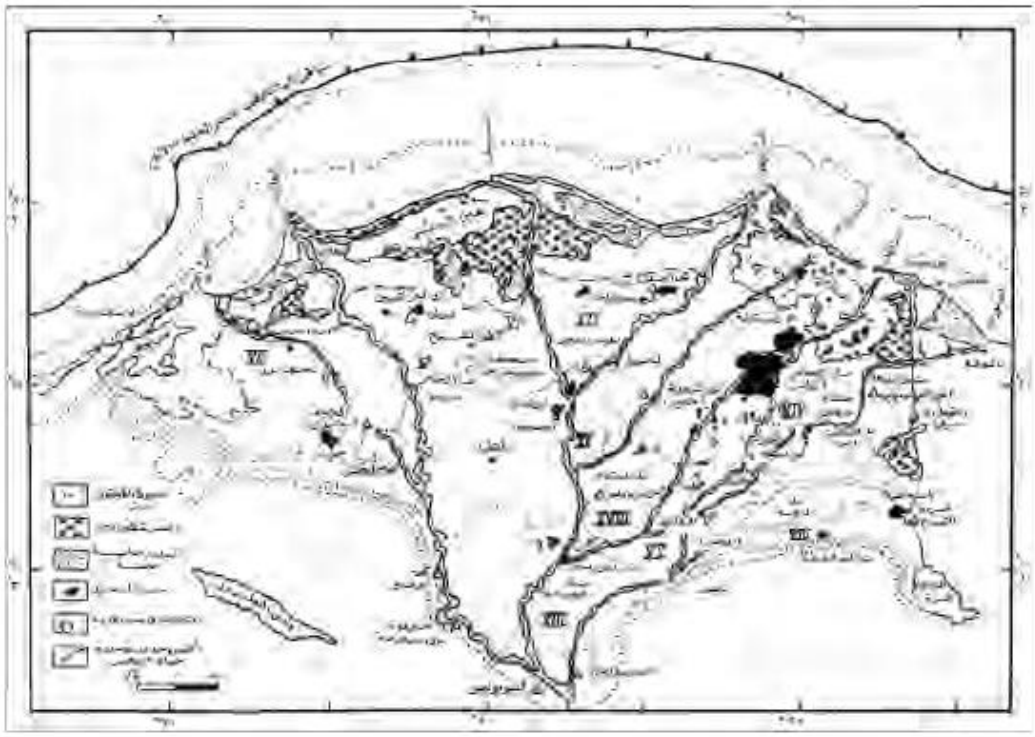
وقد ظهر من البحث أنه يمكن حماية شمال الدلتا من الغرق بطرق هندسية وتخطيطية متعددة فى السيناريو الأسوأ. مما يعنى احتفاظ شمال الدلتا بالقيمة الاقتصادية العالية لأراضيها ومدنها وبنيتها التحتية، واستبعاد تهجير سكانها، فالتنمية لا يجب أن تتوقف فى شمال الدلتا نتيجة التخوف من ارتفاع البحر، ولكن يجب أن تخطط لتوجه احتمال حدوثه.

الكلمات الدالة: ارتفاع منسوب سطح البحر- حماية شمال الدلتا- الشواطئ الطبيعية- تقنيات الحماية من ارتفاع منسوب سطح البحر

١ تمهيد

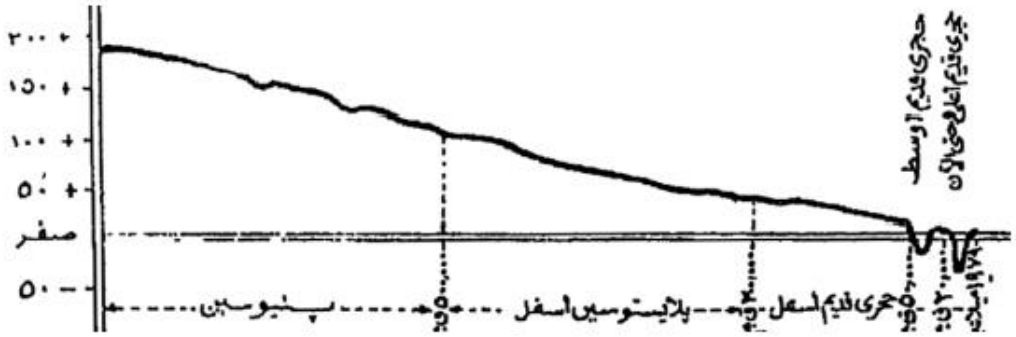
تتسبب مشكلة الاحتباس الحرارى فى الكثير من المخاوف على مستقبل التنمية فى الأراضى المنخفضة المتصلة بالبحار، فى ضوء احتمال ارتفاع منسوب سطح البحر نتيجة انصهار جليد القطبين وتمدد مياه المحيطات نتيجة ارتفاع درجة حرارتها، وتتبنى الأمم المتحدة العديد من الدراسات التى تنبأت بارتفاع عالمى لمنسوب سطح البحر بين ٣٠ سنتيمترا ومتر كامل (Elsharkawy) ، وهو ما يعنى خطرا داهما يهدد بالغرق الأراضى التى لا ترتفع كثيرا عن هذا المنسوب فى العديد من دول العالم، وهى عادة مناطق دلتا الأنهار التى يكون منسوبها شديد القرب من منسوب البحر، نظر لتكونها من إرسابات الأنهار التى تصب به. ويهدد هذا الخطر مصبات الأنهار فى دول متقدمة مثل دلتا المسيسيبى بالولايات المتحدة ، وأراضى هولندا فى دلتا الراين، كما يهدد بالطبع عدة مناطق بدول نامية مثل دلتا الجانج ببنجلاديش وشط العرب (مصب دجلة والفرات بالعراق)، وبالطبع شمال دلتا النيل بمصر. ويتوقع المؤمنون بهذا الاحتمال غرق أجزاء كبيرة من هذه الأراضى التى تتسم معظمها بكثافة عالية من السكان نظرا لخصوبتها ووفرة مياهها. وبالتالى تهجير سكانها، وهى فكرة مقلقة جدا للحكومات التى سيضاف إلى مشاكلها الحالية التى تعجز عن حلها، مشكلات مستقبلية آتية من عالم الغيب، لذا تميل الحكومات لانكار هذا الخطر أو تقليل احتماله، متبنية آراء علماء آخرين يميلون لتقديرات أقل لارتفاع منسوب سطح البحر أو يفترضون أن التأثيرات الأخرى لتزايد الحرارة العالمى (مثل زيادة البخر) ستقلل من ارتفاع سطح البحر.

شكل (١) خريطة الدلتا توضح التطور التاريخى والجيولوجى للدلتا وخط الساحل (رشدى سعيد)



ومن الملاحظ من العديد من القياسات أن درجة حرارة العالم ترتفع بالفعل (Allaby pp218), (Bolin pp168) ، وشوهدت بعض مظاهر ذوبان الجليد فى المناطق القطبية والجبلية (Bolin pp201) ، ولكن تختلف الآراء حول السبب، فالبعض يفترض أن النشاط البشرى وزيادة انبعاثات ثانى أكسيد الكربون من حرق الوقود هو السبب، وبالتالى فالطريق الوحيد لمواجهة ذلك هو تقليل هذه الانبعاثات، بينما يرى آخرون أن الارتفاع التدريجى فى حرارة الأرض عملية طبيعية (Barry pp356) ، فقد مرت الأرض بدورات عديدة من السخونة والبرودة فى عصور جيولوجية متعددة، آخرها الهولوسين الذى نعيشه الآن والذى شهد آخر عصر جليدى منذ حوالى عشرة آلاف عام (الهيئة الدولية لتغير المناخ) ، ويفترضون بناء على ذلك أن ارتفاع درجة حرارة الأرض عملية مستمرة منذ ذلك الوقت، ولا يمكن وقفها بتغيير النشاط البشرى.

شكل (٢) التغير فى منسوب سطح البحر المتوسط عبر العصور الجيولوجية والتاريخية يعطى مؤشرا على أن التغيرات الطبيعية فى منسوبه أقدم بكثير من الوجود البشرى(حمدان ص١٦٨)

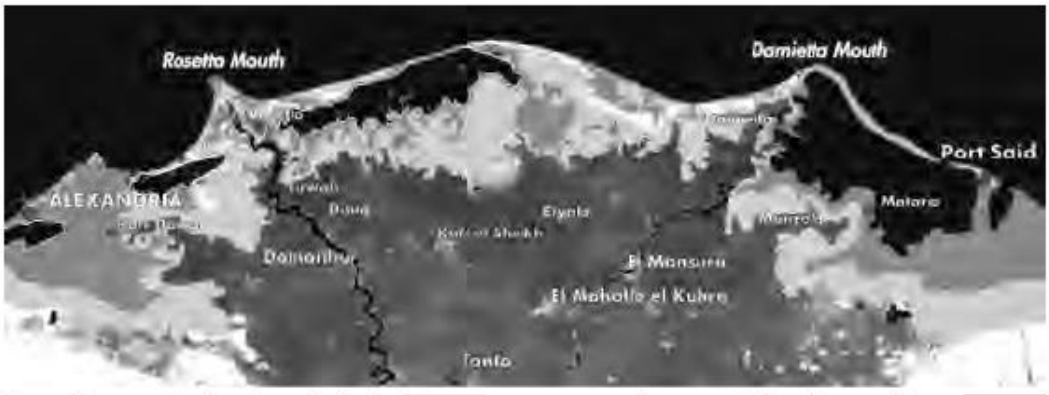


والحقيقة أنه يصعب الجزم بما سيحدث على وجه الدقة فى المستقبل فى تطور الاحترار العالمى ونتائجه، أو الجزم بأسبابه، ولكن احتمالات الخطر لا يمكن تجاهلها، فلو صدقت الاحتمالات المحذرة من غرق الأراضى المنخفضة، فسيكون لذلك آثار كارثية على ملايين البشر(Dasgupta) . وقد تبنى بعض العلماء المصريين مثل د. مصطفى كمال طلبة سيناريو الغرق الحتمى وضرورة تهجير أربعة أو خمسة ملايين مواطنمن مدن وقرى شمال الدلتا (طلبة)، وهو ما يعنى أنه يجب وقف التنمية تماما فى شمال الدلتا حتى لا نستمر فى الاستثمار والتوطين والبناء فى مناطق قد يلتهمها البحر خلال عقود. بينما ينكر البعض الأمر برمته!

ويحتدم الجدل محليا وعالميا بين التهويل والتهوين من الاحتباس الحرارى وارتفاع منسوب البحر وآثارهما المحتملة بما فى ذلك غرق الدلتا، ويحاول هذا البحث تفادى مناقشة هذه الاحتمالات أو الترجيح بينها، بل التعامل مع كل السيناريوهات المحتملة: سينريو ارتفاع سطح البحر، وسيناريو ثباته.

ويتبنى هذا البحث محاولة للخروج من هذا الجدل حول إثبات وجود المشكلة أو خطورتها، والبدء مباشرة فى البحث عن حلول تواجه المشكلة فى أسوأ فروضها، فلو فرضنا جدلا أن مستوى سطح البحر سيرتفع مترا بنهاية القرن الواحد والعشرين، هل يعنى هذا أن شمال الدلتا سيفقد بالضرورة؟ أم أنه بالإمكان مواجهة هذا الارتفاع بالطرق التخطيطية والهندسية بحيث تستمر الحياة والنشاط الاقتصادى بشمال الدلتا؟ فإن ثبت أن هناك حلولا تستطيع إنقاذ الدلتا من الغرق فى أسوأ الأحوال، وبتكلفة أقل من قيمة الاستثمارات والقيم المهددة، فإن السيناريو الأسوأ لن يصبح "غرق الدلتا وتهجير السكان وخسارة كل شيء" بل سيصبح: " إنفاق مبلغ كبير لتمويل مشروعات حماية الدلتا". وهو فارق تخطيطى واقتصادى كبير.

شكل (٣) المناطق المهددة بالغمر فى شمال الدلتا لو ارتفع منسوب البحر نصف متر أو متر كامل (UNEP 2001)



مناطق مهددة بالغرق لو ارتفع منسوب البحر نصف متر

المناطق المهددة بالغرق لو ارتفع منسوب البحر مترا كاملا

١/١ هدف البحث

يهدف هذا البحث للإجابة عن سؤال: **هل يجب أن تتوقف التنمية فى شمال الدلتا تماما نظرا لوجود خطر محتمل بغرقها وفقدان الاستثمارات التى تنفق فيها؟ أم أنه توجد طرق هندسية لحماية شمال الدلتا من الغرق و باقى الآثار السلبية لارتفاع سطح البحر؟** مما يسمح بالحفاظ عليها وتنميتها بأسلوب محدد حتى لو ارتفع سطح البحر.

فلو افترضنا جدلا ارتفاع سطح البحر مترا كاملا بنهاية القرن، فهل يغرق شمال الدلتا، أم أن هناك حلولا هندسية تستطيع حمايته من الغرق بتكلفة اقتصادية مقبولة؟ فإن وجدت هذه الحلول وكانت ذات فرصة فى النجاح ولها أمثلة منفذة بالفعل ومجربة فى مصر أو مختلف بقاع العالم، فإن السيناريو الأسوأ لن يصبح غرق الدلتا بل إنفاق مبالغ محددة لإنقاذها.

وهذا البحث لا يتضمن اختيار الوسيلة المثلى أو المقارنة الكمية بين الحلول أو جدواها لاقتصادية، ولكنه فقط يحاول إثبات أن هناك حلولا محتملة، يمكن دراستها بالمزيد من التفصيل لاحقا مع اجراء الدراسات البيئية الاستراتيجية ودراسات الاثر البيئى لها. وهذا المنهج يتبعه علماء الرياضيات عند التعامل مع معادلة معقدة، إذ يدرسون عدد المتغيرات والمعطيات بها للتأكد من أن "هذه المعادلة لها حل" قبل المحاولة الفعلية لحلها، والتى قد تستغرق شهورا من العمل والبحث.

٢/١ هيكل البحث ومنهجه

يقوم البحث بحصر التقنيات الهندسية والتخطيطية المحتملة وتصنيفها فى استراتيجيات عامة، وصولا إلى إطار نظرى للتعامل مع المشكلة، يمكن من خلاله مناقشة هذه الحلول، وإثبات أن بعض هذه الحلول الهندسية "يمكنها" حماية منطقة شمال الدلتا من الغرق أو البوار، وبالتالى حفظ فرصتها فى التنمية المستدامة، وذلك من خلال أربع استراتيجيات نظرية عامة هى: رفع منسوب اليابس، أو خفض منسوب سطح البحر، أو وضع سدود تفصل بين اليابس المنخفض والبحر المرتفع. بالإضافة للتخطيط البيئى لشمال الدلتا والمناطق المغمورة بالمياه.

والبحث فى معظمه يتبع منهجا استقرائيا يجمع الجزئيات لبناء القواعد العامة والإطار الأشمل، وصولا للإجابة على السؤال الرئيسى للبحث، أما عند مناقشة كل تقنية مقترحة على حده فيتم إثبات احتمال نجاحها إما بالاستقراء من تجارب عملية أو بالاستنباط من الأسس الهندسية والعلمية التى تعرض عند مناقشتها، والأسس العلمية أو التجارب العملية التى يبنى عليها أكثر من حل مقترح يتم عرضها خلال مناقشة أول حل يبنى عليها. وبهذا يعرض كل حل مقترح فى موقعه من الإطار النظرى، ثم يحدد الأساس العلمى أو التجريبى الذى بنى عليه، ثم مناقشة مميزات وعيوب المقترح وإمكانية تكامله مع الحلول الأخرى وصولا للنتيجة من خلال التحليل المقارن. ونظرا لتعدد الحلول والأسس العلمية والعملية المتباعدة، فقد اختير هذا الهيكل بدلا من الهيكل المعتاد للأبحاث فى عرض الكتابات والأسس العلمية دفعة واحدة فى بداية البحث. ومصادر المعلومات معظمها ثانوية إلا فى حالات محددة لتجارب عملية قام بها بعض المصريين للتعامل مع ارتفاع منسوب المياه فى أراضيهم قام الباحث برصدها.

٢ رفع منسوب اليابس

إذا ارتفع سطح البحر لدرجة تهدد اليابس فيمكن بتلقائية ردم الأرض المهددة بالتربة لرفع منسوبها والحفاظ على فارق المنسوب الحالى أو حتى زيادته. وهو حل يكاد يكون بديهيا، فهذه الكلمة تتردد بتلقائية لدى أهل المناطق الساحلية ردا على الفكرة المخيفة بالنسبة لهم وهى غرق أراضيهم أو مدنهم. فهى الحل الوحيد تقريبا الذى يمكن تطبيقه بشكل فردى. وهو حل مطبق عمليا فى عديد من الحالات التى يواجه فيها صاحب الأرض مشاكل ارتفاع المياه محليا.
والفكرة يمكن تحقيقها بشكل هندسى بعدة طرق:

١/٢ رفع منسوب سطح الأرض بردمها بتربة موردة من خارج الموقع

وهو ما يعنى نقل تربة من مواقع مرتفعة تكون أقرب ما يمكن من الموقع المهدد بالغرق، واستخدامها لرفع منسوب أرضه، وبالنسبة لشمال الدلتا، تبدو ثلاث مصادر محتملة للتربة:

١/١/٢ رمال موردة من الأراضى الصحراوية المتاخمة سواء فى شرق الدلتا أو غربها

وهذا الحل سهل ولكنه مكلف، فمحاجر رمال البناء منتشرة بالأراضى المرتفعة المتاخمة للدلتا، ويتراوح سعر المتر المكعب من هذه الرمال بين ٢٠ إلى ٢٥ جنيها- مما يعنى ان تكلفة رفع منسوب فدان واحد من الأرض بمقدار متر ستتراوح بين ٨٠ و١٠٠ ألف جنيه، وهو ما يعادل ثلث إلى نصف القيمة السوقية للفدان. ويمكن بالطبع تقليل هذه التكلفة الضخمة باستخدام رمال لا تصلح للبناء من محاجر أقرب. ولكن ما يزيد الجدوى أن عملية رفع المنسوب تتم تدريجيا، مما يعنى تقسيط تكاليف عملية رفع المنسوب على ١٠٠ عام تقريبا.

والمشكلة الثانية هى نوعية التربة التى تختلف جودتها عن التربة الأصلية، ولتفادى ذلك يمكن اتباع عدة أساليب: حيث يمكن حفر تربة الموقع قبل الردم بعمق يكفى جذور النباتات المزمع زراعتها وتخزينها بطرف الأرض أو خارجها، ثم ردم الأرض بالتربة الموردة من الخارج، ثم إعادة تغطية التربة الجديدة بالتربة الأصلية للموقع. مما يضيف تكلفة الحفر والتسوية إلى تكلفة استيراد الرمال، ولكن له ميزة إضافية، فالردم برمال خشنة يزيد من مسامية الطبقة تحت السطحية ويسهل عمليات الصرف الزراعى، كما يمنع صعود المياه المالحة إذا وجدت بالموقع إلى طبقة التربة السطحية المزروعة.

كما يمكن الزراعة بالطبقة الرملية الجديدة بالأساليب الزراعية الحديثة مع اعتبار الطبقة الطينية الأصلية عازلا للمياه، وخاصة إذا أمكن دمكها قبل الردم. أو خلط التربة الجديدة بالقديمة بنسب وأساليب مدروسة تضمن توفير تربة أفضل من كلا التربة الأصلية والجديدة، والقرار بهذا الشأن يتخذه الزراعيون المختصون بالتربة طبقا لأبحاثهم.

ويجب الاهتمام بدراسة منطقة المحاجر نفسها حتى لا ينخفض منسوبها عن منسوب سطح البحر أو منسوب المياه الجوفية المحيطة بها، فتتحول إلى برك تسبب المزيد من المشاكل.

٢/١/٢ استخدام تربة طينية مجرفة من مواقع أعلى بالدلتا

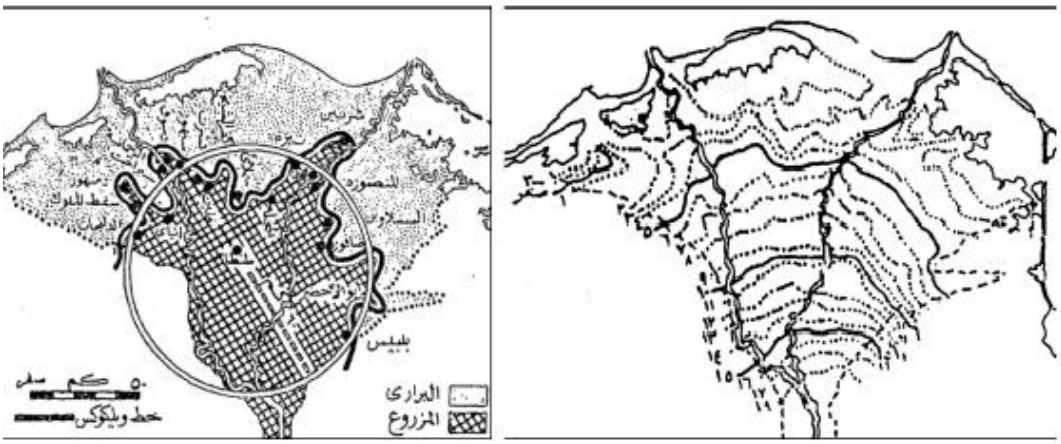
وهو حل يقلل تكلفة النقل ويحافظ على تجانس التربة، ولكنه يمثل خطورة على المناطق التى ستجرف حيث أنها عادة تخضع لتوازن هش فى منسوب المياه الجوفية المحكوم بمناسيب شبكة ريها وشبكة صرفها، وهو ما يعنى أن أى منطقة تحفر ستتحول إلى بركة. خاصة مع احتمال الاحتياج لرفع منسوب شبكات الرى إذا تم تطبيق حل رفع منسوب التربة على نطاق واسع. ويفضل عدم اللجوء إلى هذا الحل إلا بنقل نواتج الحفر لأغراض البناء أو تطوير الرى أوما شابه، لكن يمنع السماح بتجريف أرض زراعية لهذا الغرض.

٣/١/٢ الردم بتربة من قاع البحيرات

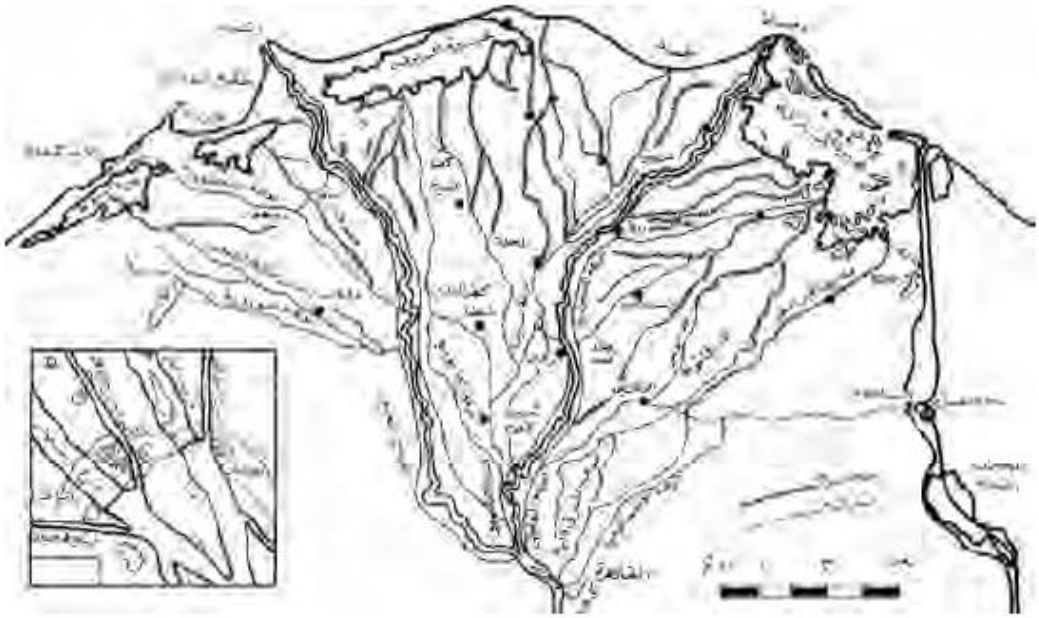
تشغل البحيرات مساحة لا يستهان بها من مساحة شمال الدلتا، ومعظم هذه البحيرات ذات عمق قليل (مثل المنزلة)، ويمكن زيادة عمق هذه البحيرات بسحب التربة من قاعها لاستغلالها فى رفع منسوب التربة فى الأراضى المحيطة بها مباشرة ، وهو ما يحدث عادة عند إنشاء المزارع السمكية، حيث يتم تشكيل قاع الأحواض وجوانبها الساندة والأراضى التى تقام عليها المنشآت بتشكيل قاع البحيرة حفرا وردما، كما أن عمليات استقطاع الأراضى من البحيرة للزراعة أحيانا ما تتم بالردم بنواتج حفر البحيرة نفسها. ومن الجدير بالذكر أن مساحة بحيرة المنزلة تتقلص باستمرار نتيجة استزراع أطرافها، فهناك دائما تفاعل ديناميكى بين اليابس والماء على سواحل البحيرات ، يتدخل فيه البشر أحيانا.

ولفهم هذا التفاعل بشكل أكبر يجب التعرف على تاريخ هذه البحيرات، فقد أدى ارتفاع منسوب البحر خلال القرن السادس الميلادى إلى غمر جزء من أراضى شمال الدلتا المزروعة بالماء لتشكل بحيرة المنزلة وتزيد فى مساحة البحيرات الأخرى، (حمدان ٢١٠-٢١٦) وهو ما أدى إلى غرق بعض القرى وتحول مدينة تانيس إلى جزيرة فى وسط البحيرة، وبقيت المدينة قائمة فى الجزيرة يربطها باليابس طريق وترعة إلى أن هجرت وهدمت مبانيها خلال الحروب الصليبية حتى لا تستعمل كقاعدة للصليبيين ضد دمياط. وقد أدى ذلك لفقدان مساحات هائلة من الأرض الزراعية، ليس فقط بالغرق ولكن بالتحول لسبخات نتيجة فقدها القدرة على صرف مياه الرى إلى البحر الذى ارتفع منسوبه، وتسبب ذلك فى ظهور أرض البرارى بشمال الدلتا، التى بقيت مهجورة حتى بدأت عمليات إعادة استصلاحها فى أوائل القرن التاسع عشر، وتشكلت من هذه الأراضى المستصلحة معظم أراضى محافظات كفر الشيخ والدقهلية ودمياط. (حمدان ٢٣١)

شكل (٤) خريطة الدلتا توضح نطاق البرارى شمال الدلتا متوافقا مع خط كونتور ٣ متر تقريبا (حمدان)



شكل (٥) خريطة الدلتا توضح شبكة الرى والصرف (مبسطة) ويلاحظ أن تركيز شبكة الصرف يزيد فى شمال الدلتا متوافقا مع نطاق البرارى ومنطقة ملوحة المياه الجوفية وخط كونتور ٣ متر (رشدى سعيد)



وقد كانت أهم عمليات الاستصلاح تأثيرا هى بدء عمليات الصرف بالرفع، حيث حفرت المصارف فى منسوب يقل عن منسوب سطح البحيرات لصرف المياه من الأرض السبخة وتجفيفها ليمكن زراعتها وصرف مياه ريها، ثم التخلص من هذه المياه إلى البحيرات بمحطات رفع فى نهاياتها، وهو ما سمح باستزراع أراضى لا يكاد منسوبها يتعدى منسوب الصفر أو يقل عنه أحيانا.

وقاربت عمليات استصلاح سبخات الدلتا على الانتهاء فى نهاية القرن العشرين، لينتقل الناس إلى مرحلة استعادة الأرض من البحيرات نفسها فى عمليات ردم جائرة هددت نظامها البيئى الذى استقر خمسة عشر قرنا تقريبا.

والدليل على ديناميكية العلاقة بين منسوب اليابس والماء، بحيرة أبى قير المندثرة، التى تكونت خلال القرن الثامن عشر بين بحيرتى إدكو ومريوط فى منطقة ينخفض منسوبها عن البحر، كانت تمتلئ موسميا بمياه الصرف الزراعى مما أتلف الأراضى الزراعية بها، لكن تم إعادة تجفيفها واستزراعها مرة أخرى. (حمدان ٢٢١)

ويمكن بتنظيم عمليات استخراج التربة من قاع البحيرات بعد دراسة نوعياتها وأعماقها زيادة عمق بعض أجزاء البحيرة لاستخدامها كخندق يعوق تسرب مياه البحر جوفيا للتربة (كما سيتم تناوله فى القسم التالى من البحث) وتوفير كميات كبيرة من التربة تستخدم بتكلفة نقل قليلة خاصة للأراضى المتاخمة لسواحل البحيرات مباشرة والأكثر تعرضا لخطورة الغرق. حيث يمكن الاستغناء عن عملية نقل الرمال بالشاحنات المستخدمة حاليا والتى تمثل معظم تكلفة نقل التربة، ليحل محلها النقل بالصنادل العائمة والسيور الناقلة وغيرها من الطرق الأقل تكلفة اقتصاديا وبيئيا.

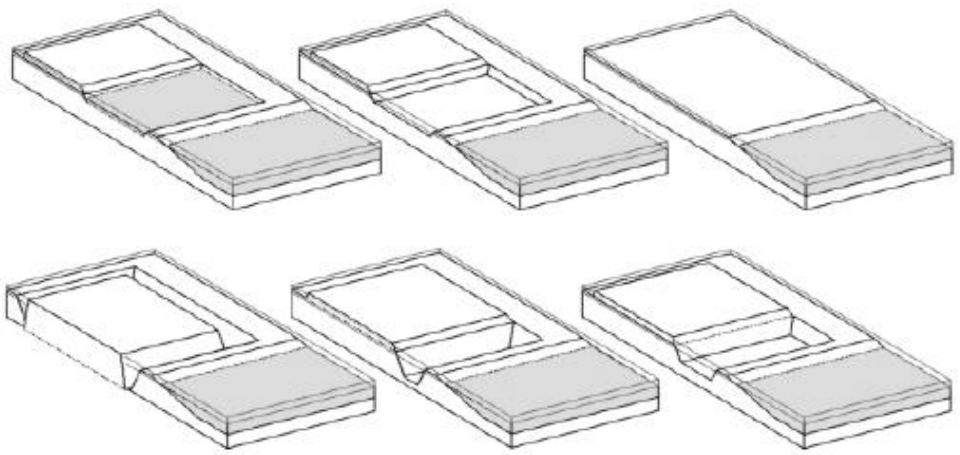
٢/٢ الردم بتربة موردة من الموقع نفسه

ويعنى ذلك حفر جزء من الأرض لردم جزء آخر منها، وهو حل يعنى فقد جزء من الأرض لإنقاذ الجزء الآخر، وهذه الفكرة مطبقة بالفعل فى مناطق السبخات بسواحل البحيرات الشمالية، كطريقة للاستصلاح، حيث تقل قيمة أرض السبخات (حوالى ١٠٠ ألف جنيه للفدان) نظرا لعدم جدواها الاقتصادية كأرض زراعية، ولكن حفر نصفها بعمق متر إلى متر ونصف يحولها إلى مزرعة سمكية (حوالى ١٢٠ ألف جنيه للفدان) واستخدام نواتج الحفر لردم النصف الآخر يحوله لأرض زراعية (يصل ثمنها إلى حوالى ٢٠٠ ألف جنيه بعد نهاية الغسيل والمعالجة من آثار الملوحة) مما يعنى أن ثمن الفدان سيصبح فى المتوسط ١٦٠ ألف جنيه.

ونظرا لذلك تكتسب الأراضى فى شمال الدلتا وسواحل البحيرات شكلا مميزا، أقرب إلى موزايك من القطع الخضراء والزرقاء، حيث تختلط الأرض الزراعية بالمزارع السمكية فى نسيج منتظم حينا وعشوائيا معظم الأحيان، بل ويظهر بعض هذه اللوحات التجريدية فى وسط رمال الحاجز الرملى الشمالى الذى يفصل البحر عن شمال الدلتا، حيث تختلط الأراضى الزراعية بالمزارع السمكية. وإذا تركت الأمور تماما للارتجال الفردى، فمن المرجح أن الارتفاع التدريجى فى منسوب البحر سينتج عنه تزايد تدريجى لنسبة المزارع السمكية على حساب الأرض الزراعية، وليس اختفاء الأراضى الزراعية فجأة لتحل محلها المستنفعات، والتحول من الزراعة النباتية لا يعنى تصحر الأرض الزراعية أو فقدانها، بل تحولها لنوع آخر من الإنتاج، وبالتالى لا يعنى الأمر بالضرورة أن تهجر من السكان.

وليس من الضرورى أن يحفر نصف الأرض لإنقاذ نصفها الآخر، فرفع منسوب فدان من الأرض بارتفاع متر واحد مثلا، يحتاج لحفر مساحة فدان آخر بعمق متر واحد، أو نصف فدان بعمق مترين، أو ربع فدان بعمق أربعة أمتار وهكذا، فالفيصل فى الأمر هو الحجم المحفور لاستخراج تربة الردم وليست مساحتها فقط، ويتوقف العمق المناسب للحفرة على عدة عوامل، منها الاستخدام المزمع للأرض المحفورة بعد الحفر، فالمزارع السمكية مثلا تحتاج لعمق بين المتر والمترين، بينما إذا تم الحفر بشكل خطى حول الأرض يمكن تصبح المساحة المحفورة مصرفا أو خندقا يحمى الأرض من تسرب المياة الجوفية المالحة إذا بلغ الحفر عمق ٣ أو أربع أمتار. أما إذا لم تكن الأرض ستستخدم، أى أن جزءا من الأرض سيضحى به لإنقاذ باقى الأرض فيمكن الحفر حتى عمق كبير، ولكن من الخطر الحفر بكامل عمق الطبقة الطينية، حتى لا تصعد المياه الجوفية المالحة إن وجدت للسطح، كما تزيد مشكلة الميول الجانبية لجوانب الحفر التى تقلل من حجم التربة المستخرجة.

شكل (٦) حفر جزء من الأرض الزراعية لاستخدامها كمزارع سمكية واستخدام نواتج الحفر فى رفع منسوب باقى الأرض لاستخدامها فى الزراعة



شكل (٧) صورة فضائية للساحل الجنوبى لبحيرة البرلس يظهر تداخل المزارع السمكية (فاتحة اللون) والأرض الزراعية (داكنة) وجزء من البحيرة الطبيعية فى موزايك متداخل (Google earth 2009)

وبشكل عام، فحفر جزء من الأرض لتعلية جزء لآخر هو حل يقلل الخسائر ولا يلغيها، ولكن ميزته الرئيسية هو إمكانية استخدامه بشكل فردى فى قطعة الأرض الواحدة بدون تنظيم حكومى، وعيبه تحويل شمال الدلتا إلى نسيج إسفنجى من الأراضى والحفر، كما يمكنه تدمير نظام المياه الجوفية وخاصة فى حالة الحفر العميق بشكل عشوائى، أما فى حالة التخطيط الحكومى فيمكن أن يكون حفر المصارف مصدرا جيدا لتربة الردم دون إخلال بالنظام البيئى.

٣/٢ الردم باستخدام المخلفات

١/٣/٢ المخلفات البلدية (القمامة)

وهو الحل الأقل تكلفة اقتصاديا، فهو يحل مشكلة مزدوجة، مشكلة التخلص من المخلفات بالدلتا نظرا لندرة الأرض لدرجة تمنع استعمال الأرض كمدفن صحى، ومشكلة العثور على مادة للردم بدون تكلفة. ولكن تكتنف هذه الفكرة مخاطر شديدة على البيئة، نظرا لإمكانية تلوث التربة والمياه الجوفية بسبب هذه المخلفات، وكذلك عملية تحللها التى قد تتسبب فى إنتاج غاز الميثان القابل للاشتعال، وهو احد غازات الامتصاص الحرارى. وكذلك قابلية المخلفات للاشتعال الذاتى والذى يمكن أن يحدث ولا يعوقه إلا وجود هذه المخلفات فى المياه الجوفية (مما يزيد فرصة تلوث الماء)، بالإضافة لإمكانية هبوط التربة بسبب تحلل وانضغاط هذه المخلفات مع الوقت.

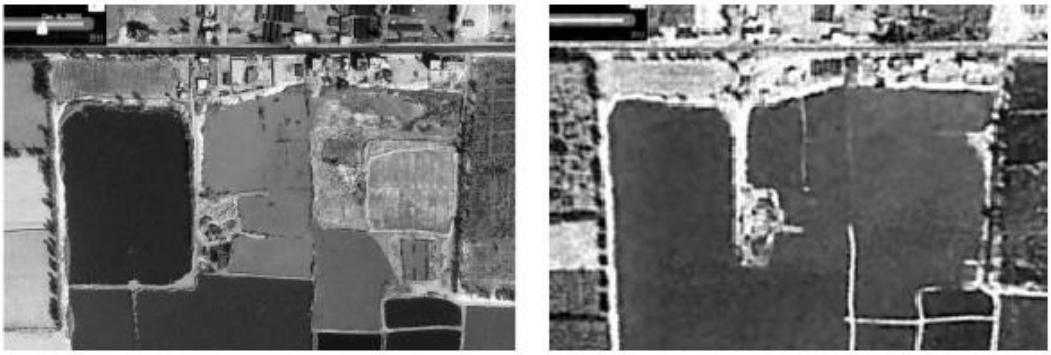
ورغم ذلك فهذه الفكرة مستخدمة بالفعل فى أحد مناطق الاستصلاح شرق الدلتا للتغلب على مشاكل ارتفاع المياه الجوفية موضعيا، فشكل (٩) يعرض صورا فضائية وفوتوغرافية لموقع لأرض زراعية منخفضة عن محيطها بحوالى ستة أمتار نظرا لانها استصلحت فى موقع محجر رمال مستنفذ، وقد كانت مغربة لصغار المزارعين الذين وجدوا المياه الجوفية قريبة ويمكن استخدامها فى رى المحاصيل دون رفع، ولكن خلال سنوات قليلة ارتفعت المياه الجوفية، وتحولت الأرض إلى بركة تمثل مصرفا للمياه الجوفية بالمنطقة بعمق مترين ونصف تقريبا ، وفقد الفلاحون مدخراتهم، لذا حاول أحدهم إنقاذ أرضه بمحاولة أخيرة، إذ اتفق مع مجلس أحد المدن القريبة على استخدام أرضه كمدفن صحى للمخلفات البلدية، وبالفعل ردم مساحة تقارب خمسة أفدنه وبعمق ثلاثة أمتار تقريبا بالمخلفات، ثم ردم فوقها مترا من التربة الرملية وزرع أرضه المستعادة بالقمح، وقد التقطت هذه الصورة للقمح قبل الحصاد بأيام خلال شهر أبريل ٢٠١١. ومع بشائر النجاح بدأ فى توسيع نفس المعاملة لتشمل باقى الأرض.

شكل (٨) صورة فوتوغرافية لأرض محجر الرمال الغارق بمحافظة الشرقية عام ٢٠١١ بعد ردم أجزاء منه بالمخلفات ثم الرمال للزراعة (يسار الصورة)

ومن المبكر طبعا الحكم على النتائج النهائية لهذا التصرف الذى أنقذ الأرض على المدى القريب، دون معرفة النتائج بعيدة المدى لمثل هذه المعالجة، ولكنه يثبت قدرة أفراد المجتمع على ارتجال الحلول المبتكرة لمواجهة ارتفاع منسوب المياه، وصعوبة اقناع الفلاحين بهجر أراضيهم بسبب خطر ارتفاع المياه.

ويمكن لتحسين هذه الفكرة وتقليل مخاطرها استعمال أراضى محددة كمحجر عام للتربة الطينية فى أى موقع بالأرض الزراعية أو السبخات، يستخدم كمصدر للتربة بعمق كبير، ثم بعد استنفاذ القدرة على استخراج المزيد من التربة منه يتم ملئه بالمخلفات واستخدامه كمدفن صحى مدروس تحت ادارة علمية تحمى البيئة من التلوث بسببه ، ينتهى باعادة تغطيته بالتربة.

شكل (٩) صورة فضائية لأرض محجر الرمال الغارق بمحافظة الشرقية عام ٢٠٠٤ (يمينا) وبعد بدء ردم أجزاء منه بالمخلفات عام ٢٠٠٩ (يسارا) (Google earth)



٢/٣/٢ المخلفات الزراعية والكمبوست

يعتبر ردم الأرض المهددة بالغرق بالمخلفات الزراعية حلا لثلاث مشاكل، فهى تمثل مشكلة بيئية إذا لم يتم التخلص منها، وعادة ما يتم التخلص منها بالحرق مما يسبب مشاكل تلوث الهواء خاصة خلال الخريف، بالإضافة للتهديد الأصلى بالغرق، ويمكن رفع منسوب التربة بردمها بمخلفات المحاصيل الحولية كقش الأرز وحطب القطن، او نواتج تقليم الأشجار المعمرة وغيرها، وتتسم هذه المخلفات أنها ترفع خصوبة التربة عند تحللها ولكن تستغرق هذه المسألة وقتا طويلا تكون التربة خلالها صعبة الاستغلال، والحل المعتاد هو استخدام المخلفات الزراعية لتصنيع السماد العضوى المعروف باسم الكمبوست، الذى يحول التربة تدريجيا لتربة دبالية خفيفة غنية بالمخصبات عند خلطها به، بينما يساهم فى رفع تدريجى لمنسوبها، ويمكن توفير مصادر إضافية لتصنيعه من المخلفات العضوية بالمدن بل ونواتج الصرف الصحى لها بعد المعالجة. وعيبه أن نسبة كبيرة منه تتحلل وتمتص بواسطة النباتات مما يعنى أنه يصعب أن يكون حلا نهائيا لرفع المنسوب، ويحتاج الأمر لدراسة كمية لتحديد نسبة ما يبقى منه فى الأرض بحيث يرفع منسوبها.

ويمكن استخدام الكمبوست كخليط مع التربة الرملية التى تستخدم للردم كطبقة سطحية بحيث يقلل مسامها ويخلق تربة جديدة خصبة، ويغنى عن إعادة ردم الأرض بطبقة من التربة الأصلية.

٤/٢ الردم بمخلفات البناء

مخلفات البناء تتوافر عند هدم المبانى لإعادة إنشاء غيرها أو هدم بعض أجزائها لتحسينها، ويمكن استخدامها للردم العميق أسفل طبقة التربة الزراعية السطحية. وعيبها الرئيسى استحالة نمو جذور النباتات بها، ولكن ميزتها الثبات الشديد وقلة التفاعل مع المياه الجوفية، فهى تسبب تلوثا فيزيائيا للتربة أكثر منه تلوثا كيميائيا. ولو أن ثبات وثقل مخلفات البناء يجعلها أكثر فائدة فى إنشاء السدود والجسور التى يمكنها حماية الأراضى المنخفضة من طغيان مياه البحر فى حالة اللجوء لهذا الحل.
وبشكل عام يفضل استخدام المخلفات فى ردم محاجر مركزية جماعية لتوفير تربة الردم البديلة تحفر بعمق كبير بحيث تنقذ أراضى بأضعاف مساحاتها، وتكون محددة المواقع وتحت إدارة حكومية أو أهلية منظمة لتقليل مخاطرها، وضمان سهولة تحديد مواقعها فى المستقبل البعيد بدلا من انتشار مخلفات متنوعة ومتفرقة عشوائيا أسفل تربة شمال الدلتا كلها تعيق التنمية فى المستقبل.

٥/٢ الخلاصة

فكرة تعلية كل الأراضى المهددة بالغمر فكرة بديهية وسهلة يمكن تنفيذها سواء بشكل حكومى أو أهلى منظم، أو حتى بمجهودات فردية لإنقاذ أراضى الدلتا المهددة بالغرق، ولكنها فكرة عالية التكلفة اقتصاديا وبيئيا. ولكن وجودها يعطى نوعا من الاطمئنان الشعبى بأن الدلتا لن تغرق، نظرا لسهولة فهم الفكرة لغير المتخصصين وإمكانية تنفيذها فرديا، وعلى المستوى الهندسى فهى تعد الملجأ الأخير فى أسوأ الفروض لو لم تنجح الحلول الأكثر ذكاء واقتصادا وتعقيدا هندسيا. مثل السدود الصلبة أو الديناميكية.

٣ وضع سدود تفصل بين اليابس المنخفض والبحر المرتفع

يمكن حماية الدلتا ككل بسد واحد على واجهتها البحرية، أو بتقسيمها إلى أجزاء يتم حماية كل منها بسدود مستقلة، أو حتى الحماية الموضعية لكل قطعة أرض على حده.

١/٣ السدود الموضعية

يمكن تقسيم الأراضى المهددة بالغرق إلى أحواض تحيط بها سدود طينية بسيطة بارتفاع يساوى الزيادة المتوقعة فى منسوب المياه لحمايتها، ولحماية الأرض من تسرب المياه عبر جسم السد يمكن حفر خندق يحيط بالأرض من داخل السد بحيث يعمل كمصرف للمياه المتسربة بحيث يتم التخلص منها خارج الأرض، ويمكن إنشاء شبكة من هذه السدود البسيطة قليلة التكلفة فى الأراضى المهددة خاصة حول البحيرات. ومما يسهل الأمر جزء كبير منها موجود بالفعل فى شكل طرق ومدقات، وجسور الترع والقنوات وما بقى من تقسيمات منذ عصر رى الحياض، كما أن أراضى شمال الدلتا بها بالفعل شبكة صرف متقدمة يمكن صرف المياه المتسربة عن طريقها.

وهذه الطريقة هى الأقدم للتحكم فى أخطار السيول والفيضانات واستعمالها فى رى الأراضى، ولذلك أمثلة شهيرة هى رى الحياض التقليدى فى مصر، والجسور الهولندية dikes التى حمت الأراضى المنخفضة عن سطح البحر من الغرق لقرون طويلة. وهذين المثالين يثبتان قدرة هذه الطريقة البسيطة وغير المكلفة على حماية الأراضى.

١/١/٣ التجربة المصرية فى التحكم بالمياه المياه بالسدود الموضعية

عرفت مصر لقرون رى الحياض، حيث تستخدم جسور طينية مرتفعة لتقسيم الأراضى إلى أحواض، ويتم الرى بالتحكم فى دخول المياه إلى هذه الحياض من فتحات محددة فى جسور النيل. وهذه الشبكة من الجسور كانت تستخدم للحماية من الفيضان والرى فى نفس الوقت، فالسدود الطينية الموضعية تستطيع حجز المياه بشكل كبير نظرا لقلة مسامية الطين خاصة إذا كن مدموكا. وهذه الطريقة التى استخدمت للتحكم فى مياه النيل يمكن استخدامها بتصرف فى التحكم فى مياه البحر وحماية أرضى شمال الدلتا منه، وذلك بتقسيم الأراضى المتاخمة للبحر والبحيرات إلى أحواض تحميها الجسور الطينية من طغيان مياه البحر، ويتخللها مصارف لصرف المياه إذا حدث تسرب، وهو ما يشبه الوضع لحالى لسواحل البحيرات حيث تستخدم السدود الطينية لتحديد أحواض المزارع السمكية فى شمال الدلتا، وعادة ما تحاط من الداخل بخندق ضحل يقل منسوبه عن قاع الحوض لالتقاط

المياه المتسربة عبر الحاجز أو التربة أسفله إلى الحوض أثناء فترة التجفيف اللازمة للقيام بالتطهير والصيانة. كما لا يمكن اهمال سد أبى قير ألذى يحمى مساحات كبيرة من الأرض الزراعية المنخفضة، والموجود منذ قرون.

٢/١/٣ التجربة الهولندية فى حماية الأراضى المنخفضة

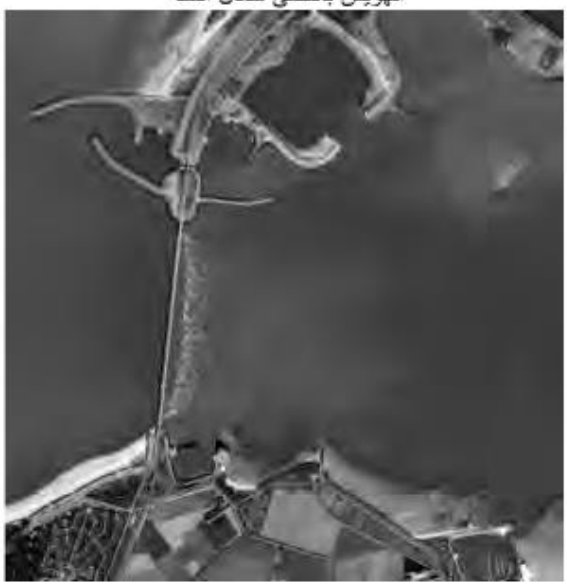
تشبه البيئة فى هولندا بيئة الدلتا المصرية، فالأراضى الأقل منسوبا فى هولندا تمثل دلتا ثلاث أنهار أوروبية أكبرها نهر الراين لذى ينبع من سويسرا ويقطع ألمانيا ليصب فى بحر الشمال، يليه نهرى الميوس والسكلت، وتنخفض بعض الأراضى الهولندية خمسة أمتار تحت منسوب سطح البحر (كلمة هولندا تعنى حرفيا الأراضى الواطئة) ، ويهددها بالغرق خطر مركب: فيضانات الأنهار نتيجة الأمطار عند المنابع، وارتفاع أمواج البحر أثناء العواصف. بالإضافة للأمطار التى تهطل محليا.

ومنذ العصور الوسطى بدأ الهولنديين فى بناء شبكة من السدود المحلية لحماية الأرض المزروعة من الفيضانات النهرية وغزو البحر، وذلك بتقسيم الأرض إلى أحواض Basins تفصلها جسور أو قواطع مرتفعة Dikes تحمى هذه الأحواض من الغمر بالمياه، وتقلل من المساحات التى تغرق بالماء بحيث إذا اجتازت المياه أحد القواطع وأغرقت حوضا، يحمى هذا الحوض الأحواض التالية له، ثم يتم نزح المياه تدريجيا من خنادق Trenches تحيط بالسدود من الداخل بواسطة مضخات يحركها الهواء، وهى المنشآت الشهيرة بطواحين الهواء الهولندية، والتى هى فى الحقيقة مضخات لمياه الصرف لا طواحين. وتشكل هذه الجسور الطرق بين القرى التى تنشأ على منسوب مرتفع يساوى منسوب الجسور.

والسدود الموضعية هو الحل الذى تعاملت به مصر مع فيضان النيل آلاف السنين وحمت به هولندا أرضها الواطئة قرونا لا يزال قابلا للتطبيق، وقد يكون وحده كافيا لصد خطر ارتفاع منسوب سطح البحر، سواء على المستوى الفردى أو بتجميع الجهود الأهلية على المستويات المحلية، أو حتى بخطة قومية لإنشاء شبكة من الجسور تقسم أراضى شمال الدلتا لشبكة مدروسة من الحياض والجسور والمصارف.

شكل (١٠) طواحين الهواء الهولندية الشهيرة التى كانت تستخدم تاريخيا لنزح المياه من المصارف والأحواض الغارقة

شكل (١١) حاجز خرسانى يغلق أحد خلجان زيلاند، لتقليل طول السد البحرى، ويتم غلقه تماما أثناء العواصف.ويلاحظ الهويس بأقصى شمال السد



شكل (١٢) سد ركامى بسيط يكسوه العشب، يفصل البحر عن مزارع الزهور الهولندية، ويظهر خندق الصرف خلف السد الطينى (Panoramio)

٢/٣ السدود البحرية

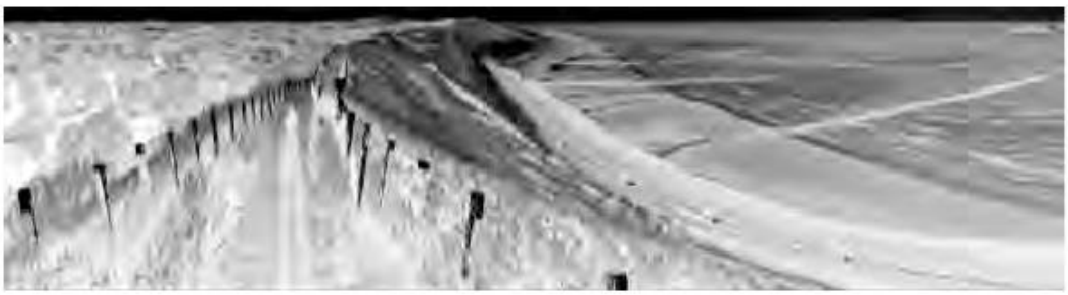
يمكن إنشاء سد كبير مستمر على واجهة الدلتا على البحر المتوسط لحمايتها ككل من ارتفاع منسوب سطح البحر، وتقليل الاحتياج للحلول الفردية أو الموضعية، وهذا السد يمكن ان يكون سدا ركاميا بسيطا قليل التكلفة، كم يمكن أن يكون سدا خرسانيا متقدما، أو مزيجا من النوعين، وهو ما يوجد له مثال ناجح فى هولندا.

١/٢/٣ السد البحرى الهولندى

استمرت هولندا تتعايش مع خطر الفيضان والطوفان اعتمادا على شبكة جسورها ومضخاتها لقرون طويلة حتى حدثت عاصفة ضخمة فى عام ١٩٥٣ دفعت مياه البحر لاجتياح مساحات شاسعة من البلاد متجاوزة الجسور والحياض، وتسببت فى مصرع أكثر من ١٨٠٠ إنسان، فبدأت السلطات الهولندية فى مشروع لسد ضخم بطول ٣ آلاف كيلومتر لحماية الأراضى الهولندية من طغيان البحر، واستمر تنفيذ المشروع حوالى نصف قرن حتى اكتمل السد الذى يتكون معظمه من السدود الركامية والكثبان الرملية، بينما بعض أجزائه التى تمر فى مياه البحر من الخرسانة المسلحة.

فواجهة هولندا البحرية سلسلة من الخلجان شديدة التعرج نتيجة تعدد مصبات الأنهار وفروعها، مما يضاعف من طول السد المطلوب لحمايتها، لذا فضل المهندسون الهولنديون أن يقطع السد بعض هذه الخلجان ويفصلها عن البحر، مع الاحتفاظ بفتحات لمرور السفن يمكن اغلاقها تماما أثناء العواصف، وقد نجح هذا السد فى حماية الأراضى الهولندية بالفعل من الغرق تأثرا بالطوفان البحرى، مثلما حمتها سلسلة القواطع والمضخات من خطر الفيضان النهرى.

شكل (١٣) صورة لساحل وست كابلس يوضح الشاطئ الرملى الذى يترسب نتيجة استعمال حواجز الموج المسامية التى تساعد على الترسيب. وتظهرالسد الركامى الذى يعلوه ممر مشاه، وكذلك التبليط الحجرى المائل لتغطية قدمة الحاجز الركامى، (Panoramio)

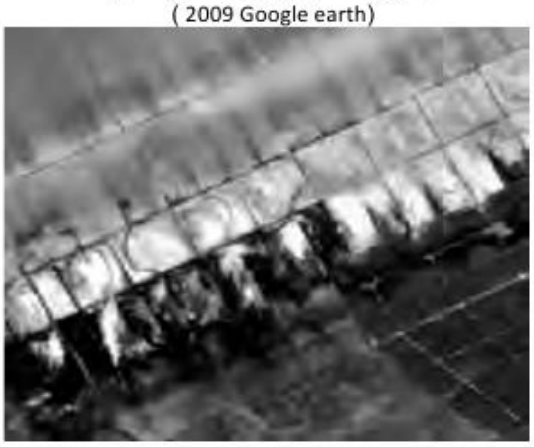


شكل (١٤) صورة فضائية لساحل منطقة وست كابلس بمنطقة زيلاند شديدة الانخفاض فى هولندا، والتى تعتمد على الجسور الركامية لحمايتها من البحر، وتظهر الصورة السد الركامى الذى يعلوه ممر مشاه، وكذلك التبليط الحجرى المائل لتغطية قدمة الحاجز الركامى، وكذلك الشاطئ الرملى الذى يترسب نتيجة استعمال حواجز الموج المسامية التى تساعد على الترسيب. كما تظهر بحيرة داخلية يقل منسوبها عن سطح البحر تتجمع بها المياه المتسربة (2009 Google earth)

شكل (١٥) صورة بانورامية لساحل وست كابلس وكذلك االشاطئ الرملى الذى يترسب نتيجة استعمال حواجز الموج المسامية التى تساعد على الترسيب. كما تظهر بحيرة داخلية يقل منسوبها عن سطح البحر تتجمع بها المياه المتسربة (Panoramio)

شكل (١٦) صورة لساحل زيلاند بهولندا، تظهر الصفوف المزدوجة من الأوتاد الخشبية التى تشكل حواجز الموج المسامية، التى تساعد على الترسيب كما يظهر التبليط بالحجارة السائبة التى تتسلقها الأمواج دون مقاومة. (Panoramio)

شكل (١٧) صورة فضائية لساحل شمال هولندا، تظهر الشاطئ الرملى الذى يترسب نتيجة استعمال حواجز الموج المسامية التى تساعد على الترسيب فى خطوات متتابعة ومدروسة تستخدم طاقة البحر لزيادة الأرض الزراعية على حسابه. (2009 Google earth)

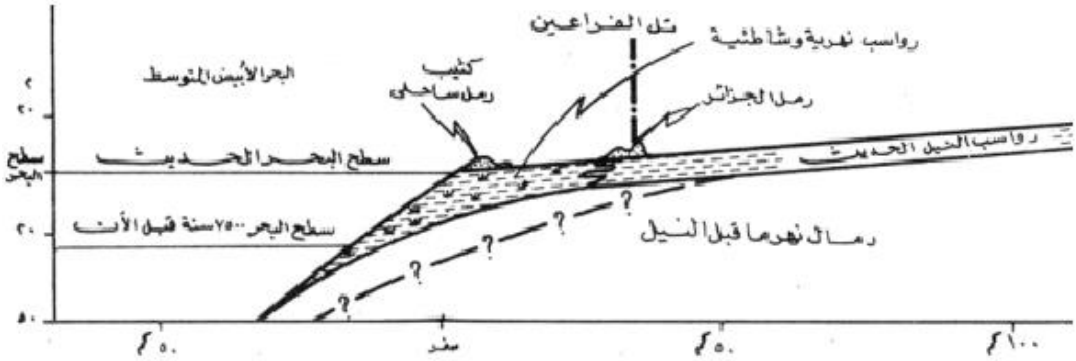


٢/٢/٣ السد البحري المصرى (المقترح)

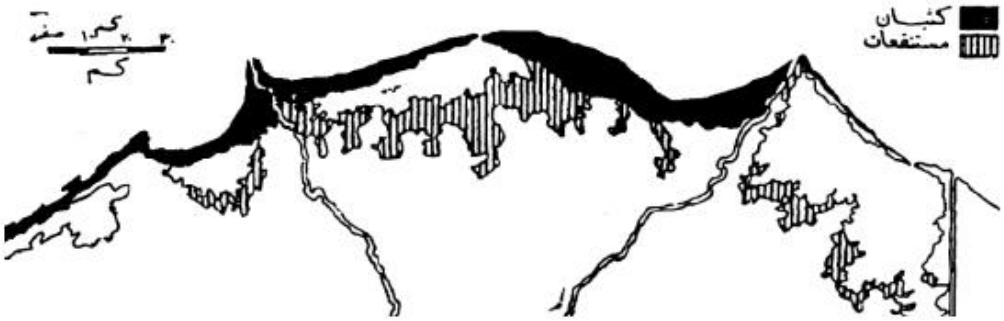
يمكن إنشاء سد كبير مستمر على واجهة الدلتا على البحر المتوسط لحمايتها ككل من ارتفاع منسوب سطح البحر، وتقليل الاحتياج للحلول الفردية أو الموضعية، وهذا السد يمكن ان يكون سدا ركاميا بسيطا قليل التكلفة، كم يمكن أن يكون سدا خرسانيا متقدما، أو مزيجا من النوعين، والجدير بالذكر أن هذا السد موجود طبيعيا متمثلا فى سلسلة الكثبان الرملية التى تحمى واجهة الدلتا، فهو سد بحاجة لتقوية وصيانة واستكمال، وليس للبدء به من الصفر.

وهذا السد يمكن أن يكون طوله حوالى ٣٢٠ كم يمتد من الإسكندرية وحتى شرق سهل الطينة بشمال سيناء الذى يمثل النهاية الطبيعية للدلتا، ولا يمكن إهمال أن هناك ثلاث مجارى مائية تقطع هذا السد وهى قناة السويس ومصبى نهر النيل، بالإضافة للمداخل البحرية (البواغيز) للبحيرات الثلاثة المتصلة مباشرة بالبحر (المنزلة والبرلس وإدكو)، وهو ما يفرض حلا من اثنين، إما غلق هذه الفتحات والمجارى بالسد، والاحتفاظ بمنسوبها الحالى عند ارتفاع مستوى سطح البحر، ووضع أهوسة تسمح بحركة المراكب فى هذه المجارى. أو التفاف السد حول هذه المجارى واعتبارها جزئا من البحر، أو مزيجا من الحلين.

شكل (١٨) قطاع طولى فى الدلتا يوضح الرواسب الطينية التى تشكل تربة الدلتا فى طبقة سميكة تميل ناحية البحر، و الكثبان الرملية الساحلية التى تشكل سدا ركاميا ديناميكيا يحمى الدلتا من أمواج البحر. (رشدى سعيد)



شكل (١٩) خريطة الدلتا توضح نطاق الكثبان الرملية الحامى لشمال الدلتا (حمدان)



فالحل الأول شديد الصعوبة خاصة فى حالة قناة السويس، مع الأخذ فى الاعتبار ضرورة تكرار ذلك عند مدخلها الجنوبى، ويمكن لتفادى ذلك امتداد السد على ضفتى قناة السويس لحماية الأراضى لمنخفضة المتاخمة لها، وذلك باستخدام ٥٠-١٠٠ كم من السدود الركامية حتى القنطرة شرق، حيث يرتفع منسوب الأرض بعد ذلك، ومن الجدير بالذكر إن أجزاء كبيرة من هذا السد موجودة بالفعل خاصة شرق القناة من نواتج حفر قناة السويس وتوسيعها وبقايا الساتر لترابى لخط بارليف. وقد تحتاج هذه السدود القائمة لتقليل نفاذيتها أكثر مما تحتاج لرفع منسوبها. وتبقى مشكلة الأراضى المحيطة ببحيرة التمساح والبحيرات المرة ولكنها مشكلة مختلفة عن مشكلة شمال الدلتا.

أما مصبى النيل فيمكن إنشاء قناطر جديدة عندهما تثبت منسوب النيل عند منسوبه الحالى، لكن يفضل الاحتفاظ بموقع التحكم الحالى عند قناطر فارسكور وإدفينا التى تبعد كل منهما حوالى ٣٠ كم من المصب، وتدعيم

الجسور حول المجرى بين القناطر والبحر لتحمل ارتفاع المنسوب المتوقع بطول ١٢٠ كم (٣٠× ٢ × ٢). مما يعنى أن منسوب النهر سيرتفع ليماثل منسوب البحر فى هذا الجزء، ومن الجدير بالذكر أن جسور النيل بالفعل مرتفعة بضعة أمتار عن منسوب مياه البحر الحالى فى هذه المنطقة. وبذلك يمكن أن يصل طول السد الركامى إلى ٥٥٠ كم مع حماية ضفاف قناة السويس وفرعى النيل، جزء كبير منها موجودة بالفعل.

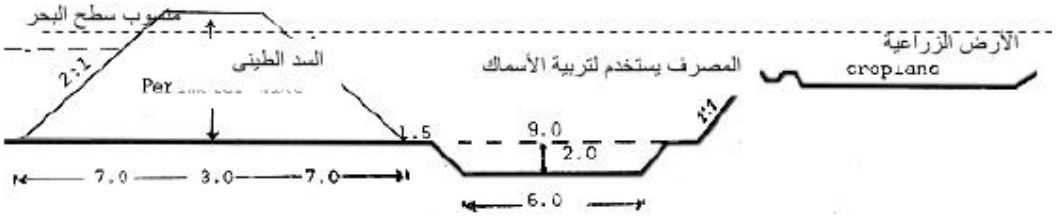
أما البحيرات الثلاثة التى تقع شمال الدلتا والمفتوحة على البحر فيفضل إغلاق بواغيزها بسدود خرسانية ذات أهوسة مع الاحتفاظ بمنسوب المياه بها فى الحدود الحالية، تفاديا لإنشاء سد بطول سواحل البحيرات الكبير البالغ ٣٥٠ كم تقريبا (المنزلة: ١٥٠كم ، البرلس: ١٢٠، إدكو: ٦٠ كم) والذى يتسم بشدة تعرجه وعدم وضوحه أحيانا بسبب تداخل المزارع السمكية والأرض الزراعية المجففة من البحيرة والسبخات والبرارى، مما سيضاعف تكلفة بناء السد، ويقرب مياه البحر من الأراضى الزراعية المطلوب حمايتها. وقد يصل بطول السد إلى ٩٠٠ كم بدون داعى.

ومن الجدير بالذكر أن الأراضى الرطبة هى أحد البيئات الأكثر ثراء بالتنوع الحيوى، وهى تمثل فرصا للعديد من الأنشطة الاقتصادية مثل الصيد والاستزراع السمكى والسياحة وغيرها، والتدخل بعلاقة هذه البحيرات بالبحر يمكن أن يغير النظام البيئى ويؤثر على الثروة السمكية، لذا يجب دراسة التأثير البيئى لهذه الحلول، ومقارنة ذلك بالآثار المتوقعة لارتفاع منسوب البحر بدون علاج واحتمال تحول بحيرات شمال الدلتا إلى جزء من البحر.

٣/٢/٣ هندسة السد البحرى

يجب تصميم السد لمنع مرور المياه، والتى يمكن أن تمر فوق السد أو خلاله أو تحته.

شكل (٢٠) قطاع فى سد ركامى لحماية لأراضى الزراعية من لغرق أثناء الفيضانات فى الفلبين، يعمد لحجز المياه وتجميع المتسرب منها جوفيا فى خندق أو مصرف يستخدم لتربية الأسماك كمحصول رئيسى ثناء فترة لفيضان، ويقترح ن يكون السد المصرى مشابها لذلك.



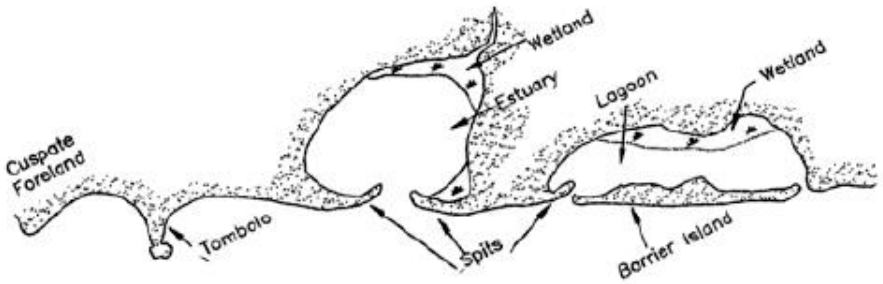
فارتفاع السد يجب أن يمنع المياه من تجاوزه فى الارتفاع، والارتفاع الذى يتعامل معه السد البحرى هو ارتفاع الموج، وليس منسوب البحر الساكن، لذا من الطبيعى أن يرفع السد ليواجه المنسوب المؤثر للموج (حوالى متر ونصف فى سواحل الدلتا) بالإضافة لارتفاع الموج خلال العواصف (قد يصل لأربعة أمتار)

ومن الملاحظ أن السواحل الحالية تواجه بالفعل هذه المناسيب للموج، بنجاح فى معظم الأحيان، رغم أن معظمها حاليا ليست محمية بسدود أو حواجز، بل هى سواحل رملية مستقرة استقرارا ديناميكيا طبيعيا، بين عمليات النحر والارساب. ولكنها أحيانا تفشل فى مواجهة بعض العواصف الشديدة فى المناطق لمنخفضة (حمدان ص ٨٤٠)، ويعنى إرتفاع سطح البحر بمتر واحد ضرورة رفع السواحل الحالية بمقدار مماثل، ليمكنها مواجهة الارتفاع الجديد للأمواج.

ورغم أن أرض شمال الدلتا الحالية يقل منسوبها بكثير عن منسوب الأمواج، إلا أنها لا تغمر بسبب الشريط الرملى المرتفع لحافتها، والذى يحميها من طغيان البحر وأمواجه، والذى يعلو الطبقة الطينية التى تمتد مئات الكيلومترات داخل البحر مشكلة مروحة من الرواسب النيلية فى قاع البحر، أما الرمال فمصادرها متعددة منها العواصف الرملية التى تحملها من الصحراء الغربية والرواسب النيلية، لكن أهمها البحر الذى ينقل الرمال نتيجة حركة الأمواج التى تلقى بالرمال على الشاطئ، ثم تعيد سحبها، ولكن نسبة من هذه الرمال تحركها الرياح إلى داخل البر مشكلة الشاطئ الرملي والكثبان الرملية الساحلية، التى تعد الشريط الحامى للدلتا من أمواج البحر، أو بحسب تعبير جمال حمدان "المتاريس التى تحمى الدلتا أو ثنية طرف الثوب التى تمنعه من التهدل".

والتى يتراوح ارتفاعها بين مترين إلى ثلاثة فى معظم الساحل وعشرة أمتار فى مناطق الكثبان الرملية التى يبلغ أعلاها خمسة عشر مترا فى بلطيم، ويتراوح عرضه بين نصف كم فى اللسان الحامى لواجهة البحيرات وأربعة كيلومترات فى جمصة وبلطيم. (حمدان ص ٨٣٩) ومن الجدير بالذكر أن أجزاء كبيرة من الحاجز الرملى تم أو يجرى استصلاحها كأرض زراعية، فى توازن دقيق بين الأراضى المرتفعة التى تغطيها الكثبان الرملية والأراضى المنخفضة التى تصلها ملوحة مياه البحر.

شكل (٢١) البحيرات والأراضى الرطبة والسبخات والحواجز الرملية من الملامح الرئيسية للسواحل الرملية التى تعتمد على توازن النحر والترسيب، وهى الأنماط الموجودة بشمال الدلتا (US Corps of Engineers)



وعادة ما تشكل حافة الشاطئ الرملى منحدرا هادئا تتسلقه الأمواج لتقل سرعتها كلما ارتفعت (فتلقى بحملها من الرمل) حتى تتحول كل طاقة الحركة التى تحملها إلى طاقة وضع نتيجة الارتفاع، ثم تعاود الهبوط باتجاه البحر ساحبة معها رمالا أخرى، ويعتمد استقرار خط الساحل على التوازن بين الرمال لتى ترسب والرمال التى تسحب فيما يعرف باسم النحر والترسيب. وبعكس الشواطئ الرأسية الصلبة التى تصطدم بها الأمواج وتستغل طاقة حركتها فى تكسير الحواجز وتآكلها، لا تصطدم الأمواج بالشواطئ الرملية بل تنزلق عليها بهدوء نظرا لميلها الخفيف الذى يتراوح بين واحد إلى عشرة وواحد إلى ثلاثين.

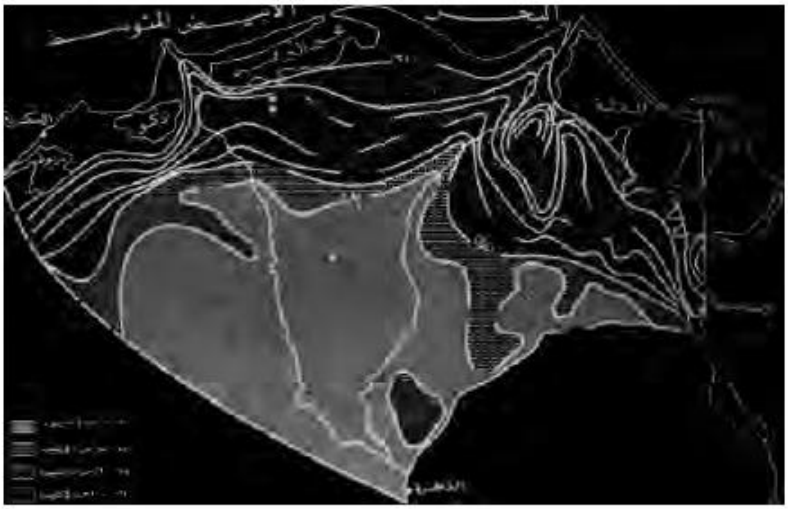
وفى حالة ارتفاع منسوب البحر، فإنه سيتقدم على الميل الهادئ للساحل مغطيا جزئا منه، لكنه فى نفس الوقت سيقوم بعمليات النحر والارساب على المنسوب الجديد وخط الساحل الجديد بنفس الطريقة تقريبا، فلا يتوقع أن يلتهم البحر خط الساحل ويتجاوزه لمجرد ارتفاع منسوبه، ولكنه غالبا سيشكل خطا جديدا للاتزان، يمكن ترك تحديده للطبيعة، أو التدخل الهندسى فيه بهدوء لتشجيع الإرساب وتقليل النحر، وذلك بطرق عديدة أهمها كاسرات الأمواج breakwater، وبعض المعالجات الهندسية مثل الأوتاد الخشبية المتقاربة فى المياه الضحلة قرب الشواطئ التى تقلل من سرعة الموج أثناء عودته إلى البحر، أو غيرها، أو حتى رفع منسوب الشاطئ بالردم بأى ركام مناسب من الرمل أو الحصى طبقا للدراسات الهندسية التفصيلية.

فالسدود الرملية المستقرة ديناميكيا هى الحل الأكثر توافقا مع الطبيعة، وهى الأقل تكلفة، ولكنها تحتاج لمراقبة مستمرة للتأكد من أن التغيرات التى تشهدها باستمرار لا تتحرك نحو الأسوأ، ووجود خطط طوارئ بديلة إذا حدث تجاوز للمياه فى بعض الأماكن. فالتخوف من غرق الدلتا طبقا لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة قد يحدث إذا اجتاح البحر نقاطا ضعيفة فى الحاجز الرملى الشمالى (UNEP)

فالأفضل استخدام البحيرات كخط دفاع أول (حوض ضخم منخفض المنسوب يمتلئ بمياه البحر فى حالة العواصف ليحمى الدلتا من وصول هذه المياه)

شكل (٢٢) صورة فضائية لساحل منطقة جمصة يظهر الحاجز الرملى الساحلى الذى بدأ استزراعه، مع استخدام السياحات المنخفضة كمزارع سمكية ليظهر تداخل المزارع السمكية والأرض الزراعية، ويؤكد الاحتياج لمصرف موازى للبحر لوقف تسرب المياه المالحة (2009 Google earth)

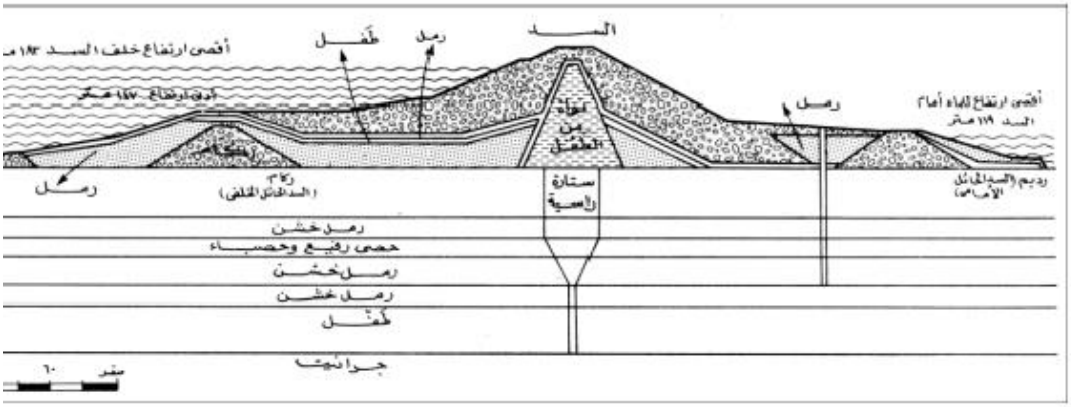
شكل (٢٣) خريطة الدلتا توضح تدرج ملوحة المياه الجوفية على عمق ثابت مع البعد عن البحر وارتفاع المنسوب (سعيد)



٣/٣ السدود الصلبة

تبنى هذه السدود عادة من الخرسانة أو ستائر الصلب، وهى عديمة النفاذية للماء بعكس السدود الرملية والركامية التى تنفذ الماء، وتتميز هذه السدود بقوتها وتماسكها وبساطة تكنولوجيا إنشائها، ولكن يعيبها اختلاف صلابتها كثيرا عن التربة الساحلية، مما يسبب إمكانية انهيارها نتيجة انجراف التربة أسفلها أو انهيارها، وقد أثيرت فكرة وقاية سواحل الدلتا بسدود خرسانية، ومن السهل تنفيذ سدود تحمى من لأمواج بارتفاع بين المترين والأربعة، ولكن من الصعب أن تحمى هذه السدود من تسرب المياه المالحة اسفلها لترفع منسوب المياه الجوفية المالحة، وتحتاج السدود لعمق قد يصل إلى ١٥ مترا حتى يصل إلى الطبقة الطينية السدودة التى تقع تحت الساحل الرملى عالى النفاذية. وهو حل ذو تكلفة هائلة.

شكل (٢٤) قطاع عرضى يوضح بنية السد العالى (سعيد)



٤/٣ السدود الركامية (الركام الثابت والركام المتحرك)

تستخدم مصر واحدا من أضخم السدود الركامية فى العالم وهو السد العالى، الذى يعتمد على قلب من الطفلة السدودة للماء فى وسطه، تسنده طبقات متعددة من الرمال والحصى والصخور، وهو يحمل فرق منسوب يزيد على ٦٠ مترا، ويمكن بنجاح استخدام السدود الركامية لحماية سواحل الدلتا من المياه بمنسوب لا يتعدى بضعة أمتار. وتستخدم السدود الركامية بنجاح فى هولندا، لحماية السواحل، سواء السدود الطينية والرملية البسيطة، أو التى تحمى بطبقات من الحجر بميول خفيفة جدا (١٠/١) تقريبا تسمح للموج بالصعود فوقها بهدوء ثم العودة دون تدميرها. وهذه السدود عادة قليلة التكلفة تندمج جيدا مع بيئتها، ولكنها تحتاج لمتابعة مستمرة وصيانة فورية عند اللزوم.

وتعتبر السدود الركامية الديناميكية المتحركة هى الحاجز الطبيعى الذى يحمل سواحل الدلتا حاليا، وهى سدود من ركام صغير تستطيع الأمواج تحريكه صعودا وهبوطا، ويعتمد استقرار خط الساحل على التوازن الديناميكى بين النحر والترسيب، ومن المنطقى الاستفادة منها فى السد البحرى المقترح.

٤ خفض منسوب سطح البحر

إن مصطلح "منسوب سطح البحر: مصطلح معقد، فمنسوب سطح البحر يتغير طوال الوقت نتيجة المد والجزر، وكذلك بتغير ارتفاع الأمواج، فإذ أردنا أن نناقش أحد طرق حماية الشواطئ اعتمادا على خفض منسوب سطح البحر، وجب تحديد المقصود بدقة.

فما تقاس منه الارتفاعات فى العالم هو **المنسوب الاستاتيكى لمستوى سطح البحر**، وهو مستوى وهمى يصعب وجوده فى الطبيعية، ولكنه يقاس فى خزان مغلق يتصل بالبحر بفتحات تقع أسفل مستوى الموج لتحييد تأثيره على المنسوب (وهو ما يشبه مقياس النيل الأثرى)، وهو عادة يقل بقليل عن منسوب متوسط الأمواج، وهو المتوسط لحسابى لمنسوبى قمة الموجة وقاعها. أما منسوب الموج فهو يتغير من ساعة لأخرى تبعا للظروف الجوية، ولكن يستعمل مصطلح ارتفاع الموج المؤثر significant wave height للدلالة على الارتفاع السائد الذى يستعمل لاتخاذ القرارات بشأن الملاحة البحرية وهندسة الموانى، ويتعامل خط الساحل عادة مع هذا المنسوب وليس المنسوب الساكن لسطح البحر، وهو حوالى ١،٦ متر بالنسبة لسواحل شمال الدلتا. وهناك منسوب آخر هو منسوب الأمواج أثناء لعواصف، وهو المنسوب الذى يجب الحماية منه فى لظروف لطارئة وليس طوال الوقت.

١/٤ خفض ارتفاع الأمواج باستخدام حواجز أو كاسرات الأمواج

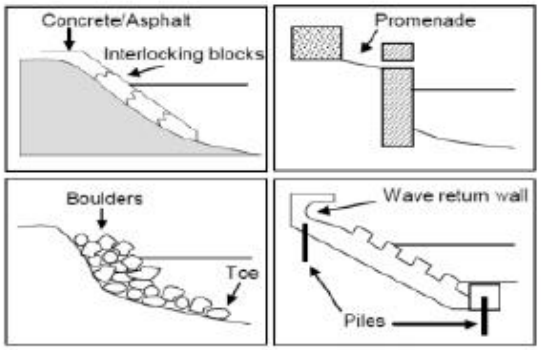
وتعتمد معظم طرق حماية السواحل على خفض ارتفاع الامواج باستخدام حواجز أو كاسرات الأمواج Breakwater لخلق منطقة شاطئية ينخفض فيها الارتفاع المؤثر للأمواج، وبالتالى يقل خطر الغمر بالنسبة للشواطئ وتصبح المنطقة المحمية أكثر أمانا للملاحة والسياحة والرياضات المائية. وبشكل مبسط، يمكن مواجهة ارتفاع منسوب سطح البحر بمقدر متر واحد بسهولة عن طريق حواجز الأمواج المفتوحة التى ستقلل من منسوب الموج من المستوى المؤثر (+ ١,٥ مترا) إلى المستوى الاستاتيكى (صفر) رغم أنها لا تقلل المنسوب الاستاتيكى لسطح البحر. فيبقى منسوب البحر حتى بعد ارتفاعه أقل من المنسوب الحالى لحماية الشواطئ من المنسوب المؤثر للموج.

وحواجز الأمواج الركامية معروفة فى مصر وتستخدم لمواجهة خطر النحر الذى زاد بعد بناء السد العالى الذى حجز طمى النيل الذى كان يلقى فى البحر فى موسم الفيضان، فيضمن زيادة الترسيب على النحر ويجعل توازن خط الساحل يميل لصالح زيادة البر تدريجيا على حساب البحر، بينما بدأ الوضع ينعكس لصالح البحر خلال سبعينات وثمانينات القرن العشرين، وزاد النحر فى بعض المواقع المتقدمة فى البحر مثل رأس البر وبلطيم لدرجة هددت مستقبلها كمصايف. ولكن مع إنشاء حواجز الأمواج انخفض معدل النحر من 4.6– (104) m2/yr قبل عم ١٩٩٠ إلى 2.6– (104) m2/yr بعده كما أوضحت نتائج الاستشعار عن بعد وعملية المحاكاة (Kaiser).

ومن الغريب أن حواجز الأمواج ببلطيم سببت زيادة الترسيب لدرجة أن مساحة البحيرة المحمية بالحواجز طمرت بالكامل تقريبا بالرمال، فحواجز الأمواج الموازية للساحل يمكن أن تنسب فى زيادة الارساب إن كانت مصممة جيدا، ويجب أن تصمم بشكل لا يسمح بزيادته لدرجة خطيرة، أما حواجز الأمواج العمودية على الشاطئ فعادة ما تسبب الترسيب فى جهة والنحر فى أخرى ما لم تصمم بشكل هندسى دقيق. وبشكل عام يجب إدراك أن قوة الأمواج والتيارات البحرية من أعظم الطاقات الطبيعية، يجب فهمهما والتعامل معها بذكاء وحرفية لتوظيف طاقتها لصالح الإنسان، أما محاولة مواجهتها بالقوة الغاشمة فغالبا ما تكون باهظة التكلفة ولا تصمد طويلا أمام قوى الطبيعة.

وتتعدد أنوع حواجز الأمواج، فهى يمكن أن تكون بارزة فوق منسوب أعلى موجة، أو تكون تحت سطحية بحيث تتفادى الصدمات العنيفة للموجات السطحية وتتعامل مع الأجزاء السفلية من الموجة (وهذا النوع أثبت نجاحه فى تقليل النحر)، ويمكن أن تكون الحواجز رأسية تصمم لتواجه صدمات الأمواج مباشرة أو أن تكون مائلة تعتمد على الجاذبية الأرضية فى مواجهة ارتفاع المياه عليها تدريجيا، ويمكن ان تكون صلبة أو ركامية، والأخيرة قد تكون منفذه للماء أو سدودة له تماما، و وكل هذه الأنواع تصلح لمواجهة الأمواج فى المياه الضحلة لأنها تعتمد على تأسيسها على قاع البحر، ولكن يمكن أن تكون حواجز الأمواج عائمة لاستخدامها فى المناطق العميقة، ويكون غاطسها أعمق من منسوب قاع الموجة وسطحها أعلى من قمم الموج. ويمكن أن تكون حواجز الموج العائمة معدنية أو خرسانية، ويتميز النوع الأخير بثقله مما يقلل من اهتزازه مع الموج، وفى المناطق التى تتسم بأمواج عالية، يمكن توليد الطاقة الكهربية باستخدام طاقة الأمواج، ورغم أنها غير اقتصادية حتى الآن، ولكن يمكنها تغطية جزء من تكاليف حواجز الأمواج.

شكل (٢٥) اشكال مختلفة من السدود الخرسانية الصلبة والسدود الركامية الحجرية



شكل (٢٦) صورة فضائية لساحل بلطيم يظهر حاجز الأمواج الصناعى الذى أدى لزيادة ترسيب الرمال واستعادة المصيف الذى كاد يفقد، وكذلك الكثبان الرملية المرتفعة المعروفة ببلطيم والتى يصل ارتفاعها إلى ١٥ مترا، والتى تتخللها الزراعات المعتمدة على المياه الجوفية داخل هذه الكثبان (2009 Google earth)

٢/٤ خفض المنسوب الاستاتيكى لسطح البحر فى مناطق محدودة

يمكن خفض منسوب الاستاتيكى بواسطة تحديد منطقة من البحر والتحكم فى منسوبها، مثل البحيرات الشمالية المتشكلة طبيعيا والتى يفصلها عن البحر الحاجز الرملى الذى يحمى شواطئ الدلتا، وتتصل بالبحر بعدد محدود من الفتحات تسمى بوغاز، وفى حالة اغلاق البوغاز بإحكام يمكن أن يبقى منسوبها عند المنسوب الحالى بينما يرتفع البحر بأى قدر دون تأثير عليها، لكن سيكون هناك احتياج لأهوسة للسماح بحركة المراكب بين البحر والبحيرة.

ومن الجدير بالذكر أن بحيرة مريوط حاليا تقع تحت منسوب سطح البحر بثلاثة أمتار رغم أنها كانت تعلوه أيام الفيضان قديما لدرجة أنه تم شق مصرف غرب الإسكندرية لحماية المدينة من الغرق بمياه النيل ، ثم تحول عنها الفرع الكانوبى قبل اندثاره وانقطعت عنها مياه النيل تدريجيا منذ القرن الثانى عشر الميلادى، فتحولت من بحيرة عذبة إلى بحيرة مالحة ثم إلى مستنقعات ضحلة قاربت على الجفاف فى نهاية القرن الثامن عشر، واستخدمتها القوات البريطانية للدفاع عن المدينة بفتح مياه البحر إليها عن طريق بحيرة أبو قير (المندثرة) لمنع القوات الفرنسية من الوصول إليها خلال حملة فريزر، وقد عادت إلى الارتفاع فى نهاية القرن التاسع عشر بعد توجيه مصرف العموم للصرف فيها، ولكن تم تثبيت منسوبها عند -٣م لحماية الإسكندرية والأراضى المحيطة من الغرق، وذلك بضخ الزائد منها إلى البحر بطريق طلمبات المكس (حمدان ٢٢٠).

ويثبت هذا سهولة تثبيت منسوب البحيرات عند منسوب الصفر الحالى أو حتى أقل بتنظيم تغذية البحيرات بمياه الصرف الزراعى والضخ إلى البحر أو منه حسب الاحتياج. ويمثل تثبيت منسوب البحيرات أحد الحلول الهامة لمواجهة غرق الدلتا، فشواطئ البحيرات هى الأكثر عرضة للتأثر بارتفاع المنسوب نظرا لعدم وجود حاجز رملى واقى مثل الذى يحمى الواجهة البحرية، لذا تكون هى الأولى بالحماية بالسدود الطينية أو رفع منسوبها، ويغنى تثبيت منسوب البحيرة عن العديد من الحلول الأخرى أو يجعلها مجرد إجراءات احتياطية.

ولتثبيت المنسوب يجب توازن المياه الداخلة للبحيرة من الصرف الزراعى والصحى ونهايات الترع ومياه الأمطار وتسرب مياه البحر والمياه المارة من الأهوسة عند مرور المراكب، مع المياه الخارجة منها عن طريق البخر أساسا أو الصرف للبحر عن طريق الرفع (خاصة باستخدام طاقة الرياح) فى حالة عجز البخر عن معادلة كل المصادر الداخلة، ويمكن التحكم فى هذا التوازن بزيادة سحب المياه بتحلية جزء منها باستخدام الطاقة الشمسية واستخراج الملح بالتوازى ليمكن التحكم فى ملوحة البحيرات. كما يمكن تقليل مياه الصرف الداخلة للبحيرات وإعادة توجيه بعضها للاستخدام فى مناطق الاستصلاح الجديدة. ومن الجدير بالذكر أن مياه الصرف الزراعى ليست شرا كلها، فبقايا الأسمدة الكيماوية تساعد على ازدهار العوالق المائية النباتية (الفيتو بلانكتون) الذى يعد بداية السلسلة الغذائية فى مياه البحيرات، مما يساعد على زيادة الأسماك وإثراء النظام

البيئى، ولكن تمثل بقايا المبيدات خطورة كبيرة. أما مياه الصرف الصحى غير المعالجة فهى تمثل مشكلة بيئية كبرى خاصة فى بحيرة لمنزلة التى تتلقى الصرف الصحى للقاهرة عبر مصرف بحر البقر.

والبحيرات نظام بيئى ثرى وحساس، يرتبط بنظم بيئية عالمية، حيث تمثل البحيرات محطة هامة للطيور خلال هجرتها بين أوروبا وإفريقيا، مما يصعب التدخل فيه بشكل كبير بدون تأثير بيئى ضخم، ولكن يجب التدخل بحرص وبعد دراسة وافية لحماية النظام البيئى للبحيرات مع توظيفها لحماية الدلتا من الغرق، أما عدم التدخل إطلاقا فى البحيرات، فقد يعنى اختفاء هذا النظام البيئى برمته تحت مياه البحر.

وبالإضافة للبحيرات، يمكن إنشاء أحواض صناعية يتم التحكم فى منسوبها، مثل حوض الميناء الشرقى بالإسكندرية مثلا، وتصلح هذه الفكرة لحماية واجهات المدن المهددة بالغرق، مثل مشروع "موسي" لحماية فينيسيا بالتحكم فى منسوب البحيرة التى تقع فينيسيا فى وسطها بوضع بوابات تغلق فى حالات العواصف والمد العالى.

٣/٤ خفض المنسوب الاستاتيكى لسطح البحر المتوسط ككل

رغم أن هذا التفكير يبدو أقرب للخيال العلمى، إلا أن هناك مشروعا بدأ التفكير فيه عام ١٩٢٧ لبناء سد عملاق بمضيق جبل طارق ليفصل البحر المتوسط عن المحيط الأطلسى (Bellows) ، تحت اسم "أطلانتروبا" وقد افترض مصمم المشروع المعمارى الألمانى هيرمان سورجيل Herman Sörgel أن منسوب البحر المتوسط سينخفض بين خمسين مترا إلى ١٠٠ متر عن منسوبه الأصلى نظرا لزيادة البخر بالبحر المتوسط عن المياه التى تصله من الأنهار التى تصب به. واقترح المصمم استغلال فارق المنسوب فى توليد الكهرباء التى كان من المتصور أن تكفى أوروبا فى هذا الوقت، كما ستزيد من مساحة الشواطئ بكيلومترات عديدة فى مختلف البلدان المطلة عليه، وقد افترض المصمم إغلاق قناة السويس أيضا بهويس يسمح بعبور السفن من المنسوب المرتفع للبحر الأحمر إلى المنسوب المنخفض للبحر الأبيض، وإنشاء محطة توليد كهربية عملاقة عندها، وطبقا لهذا المشروع ستتسع مساحة الدلتا نظرا لتقدمها فى البحر. وقد زاد تبنى الفكرة خلال الثلاثينات إلا أن نشوب الحرب العالمية الثانية قضى عليها.

ورغم غرابة الفكرة وتأثيراتها البيئية المدمرة، لكنها عادت إلى الظهور عام ١٩٩٥ مع ظهور الخوف من ارتفاع منسوب البحار، كأسلوب محتمل لمواجهة التغيرات الكبيرة فى منسوب البحر التى تهدد مدن البحر المتوسط التى تضم الكثير من التراث البشرى، ولا يبدو أن هناك احتياجا لمثل هذه الحلول المتطرفة خلال القرن الحالى الذى تشير التوقعات لارتفاع البحر خلاله بمتر واحد على أقصى تقدير، وهو ما يمكن التعامل معه بالطرق البسيطة المذكورة سابقا.

٥ تخطيط وتوظيف الأراضى المغمورة.

الأراضى الرطبة هى أحد البيئات الأكثر ثراء بالتنوع الحيوى، وهى تمثل فرصا اقتصادية للعديد من الأنشطة الاقتصادية مثل الصيد والاستزراع السمكى والسياحة والرياضة وإنتاج الأملاح وغيرها، وتعج البحيرات المصرية الآن بالعديد من هذه الأنشطة الاقتصادية رغم المشاكل التى تواجهها، وتوقع ارتفاع منسوب البحر لا يعنى تحول شمال الدلتا إلى جزء من البحر، بل تحولها إلى أراضى رطبة شبه مالحة وضحلة تحيط بها السبخات، وهو ما يشبه وضع البحيرات الآن، أى أن ارتفاع سطح البحر سيسبب زيادة منسوب ومساحة البحيرات الحالية فى حالة عدم التدخل لمواجهته، والبحيرات فى وضعها الحالى مصدر دخل وقيمة اقتصادية نتيجة الصيد والمزارع السمكية الكثيفة، بالإضافة للعديد من الأنشطة الاقتصادية الواعدة غير المستغلة مثل السياحة بأنواعها، بدءا بالسياحة البيئية ومراقبة الطيور والنظم الحيوية، وصولا للسياحة الترفيهية والرياضات المائية والاستثمار العقارى للواجهات المائية.

ويمكن فى حالة وضع مخطط شامل للتنمية يهدف لحماية شمال الدلتا من ارتفاع سطح البحر تحديد المناطق التى ستترك كأراضى رطبة بهدف حماية باقى الأراضى، ووضع مخطط لاستعمالاتها وكيفية إدارتها Wetland Integrated Management، وذلك سواء بحفرها واستغلال نواتج الحفر فى رفع منسوب باقى الأراضى، أو إنشاء السدود الموضعية، أو حفرها بعمق لتشكيل حاجز يمنع تسرب مياه البحر بالمياه الجوفية، أو كمسطحات لتبخير المياه المتسربة من البحر سواء جوفيا أو سطحيا أثناء العواصف. كما يمكن تقسيم البحيرات لأحواض مختلفة العذوبة، فالأحواض الأقرب لمصبات المصارف الزراعية تكون شبه عذبة، تتبعها أحواض شبه مالحة وتتدرج حتى أحواض شديدة الملوحة وملاحات يستخرج منها الملح لحفظ نسبة ملوحة البحيرات، ويمكن

استخدام الأحواض متدرجة الملوحة لتربية أنواع مختلفة من الأسماك النهرية والبحرية والاستوارية طبقا للاحتياج. أما المياه المالحة فيمكن استخدمها للسياحة والرياضات المائية وشديدة الملوحة يمكن استخدامها فى السياحة العلاجية، خاصة بعد تطبيق برامج مدروسة لتقليل التلوث البيئى وتدوير مياه الصرف الصحى والزراعى.

أما الأراضى الجافة، فيجب تحديد أيها يمكن تنميته بلا مشاكل، وأيها يجب رفع منسوبه قبل تنميته، وأيها سيستخدم كخنادق صرف أو مصادر لتربة الردم أو السدود الركامية أو غير ذلك لاستبعادها من التنمية، مع ضرورة الزام أصحاب المبانى برفع أدوارها لأرضية بمترين على الأقل بما يكفى لحمايتها لنهاية القرن.

٦ الخلاصة

- يمكن حماية شمال الدلتا من الغرق بطرق هندسية وتخطيطية متعددة فى حالة حدوث السيناريو الأسوأ وارتفاع منسوب سطح البحر بمتر كامل، مما يعنى احتفاظها بالقيمة الاقتصادية العالية لأراضيها ومدنها وبنيتها التحتية، وأنه يمكن الاستمرار فى تنميتها وعدم الحاجة لتهجير سكانها.
- قيمة الأراضى الزراعية وشبكة الري والصرف، والقرى والمدن والقرى السياحية والمناطق الصناعية والموانى وغيرها التى تقع فى شمل الدلتا قيمة اقتصادية كبيرة يصعب التنازل عنها بسهولة، ويمثل إنقاذها مبررا للإنفاق على الحلول الهندسية والتخطيطية لحمايتها وسببا للجدوى الاقتصادية لهذه الحلول.
- السدود الرملية الديناميكية وحواجز الأمواج الركامية منخفضة التكلفة يمكنها الاستمرار فى حماية واجهة الدلتا البحرية مستقبلا كما تفعل اليوم بعد اتخاذ بعض الإجراءات الهندسية البسيطة لمساندة العمليات البيئية الطبيعية فى رفع منسوب الواجهة البحرية، مدعمة ببعض التدخلات الهندسية الموضعية.
- من المفيد وجود خطوط دفاع ثانوية ممثلة فى رفع منسوب الأراضى بعمق ١٠٠ إلى ٥٠٠ متر حول الواجهة البحرية والبحيرات، أو فى شبكة من الجسور والأحواض بهذا النطاق والتالى له لمنع مياه البحر من التعمق فى الأراضى أثناء العواصف والأحوال الاستثنائية.
- يمكن حماية الدلتا من التسرب تحت السطحى لمياه البحر بحفر خندق موازى للساحل يعمل كمصرف لمياه الصرف الزراعى من الجنوب ومياه البحر المتسربة من لشمال، ويمكن التخلص من مياهه بالبخر من سطح البحيرات التى يبقى منسوبها منخفضا، أو بالضخ إلى البحر باستخدام مصادر متجددة للطاقة مثل توربينات الرياح فى حالات الطوارئ خاصة العواصف التى تستبدل البخر بالأمطار وترفع منسوب الأمواج.
- عملية ارتفاع منسوب البحر -إن حدثت- عملية تدريجية بطيئة يمكن الاستجابة لها خلال وقت طويل، مما يعطى فرصة لمراجعة نجاح طرق العلاج، لذا يجب البدء بالطرق الأبسط والأرخص، وعدم الانتقال للطرق الأكثر تكلفة إلا بعد استنفاذ الطرق البسيطة وفى المناطق التى تحدث بها مشاكل فقط.
- فشل الطرق الهندسية لمواجهة ارتفاع منسوب المياه –رغم قلة احتمال حدوثه- لا يعنى هجر أراضى الدلتا، بل تحولها جزئيا من الزراعة النباتية إلى الزراعة السمكية، مع الحفاظ على سكانها وبنيتها التحتية ومدنها وقراها.
- يمكن تكامل بعض الحلول والاستراتيجيات معا لتوفير حل متكامل للدفاع عن أراضى الدلتا، ويجب القيام بمشروع بحثى أو أكثر برعاية رسمية لوضع خطة متكاملة للدفاع عن أراضى الدلتا، لا يتم تنفيذها فوريا بل تدريجيا، ولكنها توضع كاملة لتكون أساسا للتخطيط التنموى لشمال الدلتا.

خاتمة وتوصية

من الصعب أن يضع بحث واحد مهما كان عمقه حدا للجدل بشأن موضوع معقد ومستقبلى مثل موضوع احتمال غرق الجزء الشمالى من الدلتا، فما بالك ببحث واسع المجال قليل العمق كهذا البحث. ولكن الأمل أن يفتح هذا البحث الطريق للمزيد من الأبحاث فى تخصصات شتى، تتناول التهديد بغرق الدلتا بطريقة ايجابية تحاول الوصول لحلول للمشكلة، بدلا من الجدل حول الآثار السلبية لها. وربما كان هذا مشروعا بحثيا متعدد التخصصات يكون له الأولوية فى المؤسسات البحثية لمصرية خلال العقد التالى، يمهد الطريق لوضع استراتيجية متكاملة متعددة البدائل والمراحل، تترجم إلى مخططات تنفيذية مرحلية لحماية ثروة مصر فى شمال الدلتا.

شكر وعرفان

للأستاذ رمضان غانم أخصائى الجمعيات الأهلية بجهاز التنسيق الحضارى على مساعداته القيمة فى مناقشة الأفكار وجمع المعلومات عن شمال الدلتا.

المراجع

جمال حمدان: **"شخصية مصر"**، الجزء الأول: الشخصية الطبيعية لمصر، دار الهلال، القاهرة، ١٩٨١.

رشدي سعيد: **"نهر النيل"**، دار الهلال، القاهرة، مصر، الطبعة الأولى ٢٠٠١

إبراهيم عبيدو: **"هندسة الموانى والمنشآت البحرية"**، دار الراتب الجامعية، بيروت، ١٩٨٧

إميل لودفيج: **"النيل- حياة نهر"**، ترجمة عادل زعيتر الهيئة المصرية العامة للكتاب (مكتبة الأسرة)، القاهرة ٢٠٠٥

مصطفى كمال طلبة: كلمة افتتاحية، **"مؤتمر مستقبل التنمية العمرانية والانتشار العمرانى"**، مركز بحوث البناء، القاهرة، ٢٠١١

الهيئة الحكومية الدولية لتغير المناخ، المنظمة العالمية للأرصاد الجوية،: **"تغير المناخ ٢٠٠١ الأساس العلمى"**، التقرير الفنى الأول للفريق العامل ، برنامج الأمم المتحدة الانمائى، ٢٠٠١

Allaby, Michael: Atmosphere, A Scientific History of Air, Weather, and Climate, Facts On File, Inc., Infobase Publishing, New York , 2009. pp218

Barry, R. and Chorley R.: Atmosphere, Weather and Climate, Eighth Edition, Routledge , London, 2003. pp356

Bellows, Jason: Mediterranean be Dammed, 2008,

http://www.damninteresting.com/mediterranean-be-dammed/

1100/PartI/PartI.htm

Berdnikov, S. V. & Sorokina V. V.: Influence of climate and anthropogenous activity on the terrigenous sedimentation dynamics of the Sea of Azov in the second part of the XXth century , Environmental Problems in Coastal Regions VII conference Transaction, The Built Environment volume 99, Wessex Institute of Technology, UK, 2008

Bolin, Bert: A History Of The Science And Politics Of Climate Change, The Role of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007.

climatetechwiki, a Clean technology platform,

http://climatetechwiki.org/content/seawalls

Elsharkawy H., Rashed H., & Rached I.:Climate Change: The Impacts of Sea Level Rise on Egypt, 45th ISOCARP Congress 2009

Dasgupta et al.: The Impact of Sea Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis, World Bank Policy Research Working Paper 4136, February 2007

Delmendo, M.N.: Environmental and engineering considerations in the development and management of aquaculture projects in floodplains, SCSP/SEAFDEC Conference on Aquaculture Engineering (with Emphasis on Small-Scale Aquaculture Projects). Iloilo (Philippines), 27 Nov 1977

Kaiser, M.F.M. et al: A New Approach to Simulate Shoreline Changes, Nile Delta, Egypt,

McKinney, Vanessa: Sea Level Rise and the Future of the Netherlands, Inventory of Conflict and Environment, ICE Case Studies, 212. May, 2007

http://www1.american.edu/ted/ice/dutch-sea.htm

NEAA, Netherlands Environmental Assessment Agency: Dutch dikes, and risk hikes, A thematic policy evaluation of risks of flooding in the Netherlands, Extended summary, Bilthoven, 2004.

Panoramio, Multiple Images displayed in Google earth,

http://www.panoramio.com/photo/12925754?source=wapi&referrer=kh.google.com

UNEP, GRID Ardenal: Vital Climate Graphics, Potential impact of sea level rise on Nile Delta, 2001.

http://www.grida.no/publications/vg/climate/page/3088.aspx

U.S. Army Corps of Engineers: Coastal Engineering Manual - Part I, Publication Number EM 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, USA. 2008

Online version available at:

http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/em1110-2-

Techniques for Facing Probable Sea Level Rise

An Approach for Sustainable Development in Mediterranean front of Nile Delta

Abbas M. el Zafarany, PhD.
Assistant Professor,
Faculty of Urban Planning,
Cairo University, Egypt

The probability of rise of sea level due to Global warming is a threat for all river deltas worldwide including Nile delta. Threatening economic, demographic and cultural heritage Values, in spite of the evident global warming, scientists still debate its reasons and predictions for its impact on sea level rise, for Nile delta, some scientists believe that sea will flood its north part, forcing its residences to migrate, while others deny or ignore the threat.

This Paper tries to avoid the debate about the existence of the problem, and focus on discussing the existence of solutions, the main question is: **should Development stop in north Nile delta due to the threat? or will some planning and engineering techniques be able to protect it and sustain its development?** The aim of this paper is to Prove that "**there is a solution**", viability of proposed solutions can be tested further in a more comprehensive Research Project.

Proposed solutions are classified under four main strategies: Raising the level of lowlands, reducing sea-level, using dams to protect lowlands, and planning of wetlands. Maintenance of natural coastal sand dunes is the easiest way, they represent dynamic equilibrium of coastline which can rise naturally with sea level rise, low-cost breakwaters can help increase sedimentation and decrease significant wave height, a network of low mud dams similar to Netherlands historical dikes can easily protect lowlands, network of trenches can collect salty water seeping underground, evaporation from coastal lakes can sustain the fragile balance. Landfilling is a local solution which can be applied by individuals.

The Paper concludes that there is a solution, engineering and planning strategies and techniques can protect lowlands from sea-level rise. Accordingly, **Development should not stop in Nile delta and similar costal zones, but should be planned to face the risk.**

Keywords: the rise of sea level; north Nile delta; coastal zones; protection from sea-level rise strategies and techniques.