أشهر الموجات التسونامية البحرية

التسونامية اليابانية

تشتهر الشواطىء اليابانية بارتطام الموجات التسونامية منذ القدم وقد سجلت التقارير أن اقتحام الموجات التسونامية لشواطىء جزر اليابان فى عام ١٨٩٦ أدى إلى مصرع حوالى ٢٧ ألف شخص ، بالإضافة إلى تشريد ما يقرب من من ألف مواطن أصبحوا بلا مأوى من جراء هجوم آخر للموجات التسونامية وعلى نفس الشواطىء فى عام ١٩٣٣ وذكرت التقارير أن هذه الموجات التسونامية المدمرة هاجمة الشواطىء اليابانية ما يقرب من ١٥ مرة فى غضون الثلثمائة عام الماضية وذكرت هذه التقارير أن التحذير الوحيد الذى كان يسبق هذه الكوارث البحرية لم يكن سوى ظاهرة الارتداد السريع والمفاجىء لمياه المحيط بعيداً عن الشواطىء ، لذا فقد أدرك سكان المناطق

(هجوم الموجة التسونامية على ناجاتا باليابان)
فى ٦٤/٦/١٦

الساحلية التى تعرضت لهذه الهجمات التسونامية المتعددة مدى أهمية هذا التحذير وأصبحوا يسرعون بالهرب إلى الأراضى البعيدة عن الساحل وإلى المناطق المرتفعة حال حدوث مثل هذا الانحسار المفاجىء لمياه البحر ، إذ بعد مرور بضع دقائق فقط من هذا الانحسار يحدث اندفاع هائل لمياه البحر قد يصل لمئات الأمتار داخل الأراضى الساحلية ، وسرعان ما تتابع الأحداث بسرعة حيث تنحسر ضد الاندفاعات المائية تجاه البحر مرة أخرى ، ثم تعاود الكرة فى الاندفاع نحو الأراضى الساحلية والانحسار تجاه البحر وتستمر هذه الموجات فى تتابع خلال فترة زمنية تتراوح ما بين عشر أو عشرين دقيقة إلى أن تتلاشى قوتها تماماً وتكون قد ألحقت الدمار بتلك الأراضى الساحلية التى هاجمتها .

تسونامية ليشبونة

تردد صدى الموجة التسونامية التى حدثت عقب زلزال ليشبونة عام ١٧٥٥ عند كلا جانبى المحيط الأطلنطى ، نفس مدينة انتيجوا فى غرب الأنديز والتى تقع على بعد حوالى ٥٧٧٥ كيلو متراً من موقع الزلزال ، تم رصد موجة بلغ ارتفاعها حوالى ٤ أمتار أما فى أقصى الغرب وعند جزيرة سابا بالتحديد ، فقد ارتفع منسوب المياه حتى وصل إلى حوالى ٦,٥ متر ، أما فى منطقة أخرى من غرب أنديز فقد تم رصد تيارات بحرية بلغ ارتفاعها ما يزيد عن ٤,٥ متر .

وقد امتد أثر هذه الموجة حتى مدينة كينالى الواقعة على الساحل الجنوبى لإيرلندا وعلى بعد حوالى ١٦٥٠ كيلومتراً من ليشبونة حيث هاجمت كتلة ضخمة من الماء الميناء فجأة وبدون أى سابق تحذير ، وقامت هذه الكتلة المائية المدمرة . بجرف كل شىء اعترض طريقها . ولم يقتصر الأمر عند هذا الحد بل امتد للشواطىء الجنوبية والغربية لانجلترا والموانىء الأوروبية بصفة عامة حيث اجتاحتها موجات بحرية عمودية تراوح ارتفاعها ما بين مترين إلى ثلاثة أمتار .

أما مدينة ليشبونة نفسها فقد انهمرت عليها موجة عاتية بلغ ارتفاعها حوالى ستة أمتار وهاجمت المناطق المنخفضة فى المدينة ودمرت كل المنازل المشيدة

فى هذه المناطق بالإضافة إلى الدمار الذى ألحقته بالجسور والكبارى وإغراق المئات من سكان المدينة ، أما مدينة كاديز الأسبانية والتى تقع على بعد ٤٣٠ كيلومتراً من مدينة ليشبونة فقد اجتاحتها موجة بلغ ارتفاعها ١٨ متراً أدت إلى تدميرها تماماً .

ومن الغريب أن أثر هذه الموجة المدمرة البالغة العنف امتد حتى جزيرة ماديرا الواقعة بين جزر أزوريس حيث انحسرت مياه البحر وتركت كميات ضخمة من الأسماك وجدت ملقاة فى الأماكن المرتفعة التى تبعد عن الشواطىء ، واندفع سكان الجزيرة فى فرح لجنى هذا المحصول الوفير والغير متوقع من الأسماك ولكن للأسف لم تدم فرحتهم طويلاً فسرعان ما هاجمتهم الموجة التسونامية التالية ، ودفعوا أرواحهم ثمناً لهذا الاندفاع .

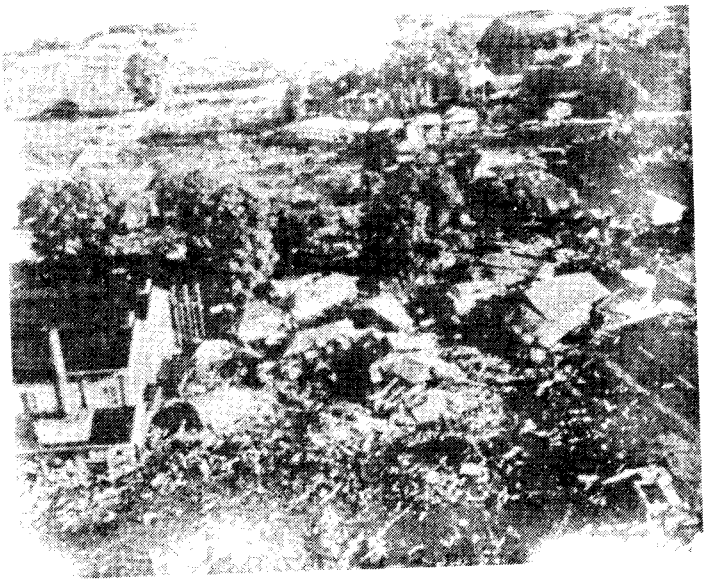
تسونامية هيلو

تعتبر شواطىء المدن والجزر التى يرتفع عندها قاع البحر تدريجياً أو التى تكون محمية بسلسلة من الصخور قرب سطح المياه الضحلة محظوظة بهذا التكوين الصخرى الذى يستنفذ معظم طاقة الموجة التسونامية قبل أن تصل إلى هذه المدن .

أما جزيرة هاواى فهى محاطة بمياه عميقة جداً ؛ ولهذا السبب توجد خنادق الغواصات خارج الموانىء الرئيسية مباشرة ولكن هذا التكوين البحرى لم يكن فى مصلحة هذه الجزيرة عندما كانت تتعرض للانحسار المفاجىء للمياه تمهيداً لهجوم الموجه التسونامية البالغة الارتفاع والتى سرعان ما ترتطم بعنف على الشواطىء الغير محمية للجزيرة .

وقد تم رصد ما يزيد على ١٠٠ موجة تسونامية هاجمة الجزيرة منذ عام ١٨١٩ ، وتسببت ١٦ موجة من هذه الموجة إلى إحداث أضرار مدمرة بالجزيرة .

(موجة شيلى التسونامية)



(آثار هجوم موجة هيلو تسونامية)

وكان من نتيجة زلزال جزر اليوتيان الشديد الذى وقع فى أول أبريل مر عام ١٩٤٦ أن انهمرت موجة ضخمة بلغ ارتفاعها ٣٠ متراً على المنازل الصغيرة الواقعة فى المعسكر الاسكتلندى بجزيرة يونيماك ، وبعد مرور أربع ساعات كانت الموجة قد هاجمت هاواى على بعد ٤٣٠٠ كيلومتر وإذا بالموجة التى كانت ارتفاعها متراً واحداً فقط ترتفع وتعلو حتى تصل إلى حوالى ١٧ متراً ثم تهاجم مدينة هيلو التى تقع على الجانب الشرقى من جزيرة هاواى ثم اندفعت الموجة بعد ذلك فى اتجاه الميناء وقامت بتدمير كل شىء اعترض طريقها ، وأدى هذا الدمار إلى مصرع ما يقرب من ١٧٣ شخصاً .

وقد كانت هذه الموجة هى أسوأ كارثة فى تاريخ الجزيرة ، وكانت من الأسباب التى أدت إلى سرعة البحث عن الأسباب التى تساعد فى التنبؤ بحدوث الموجات التسونامية .

وبعد مضى عامين على كارثة موجة هيلو التسونامية تم تسأسيس نظام التحذير ضد موجات البحر الزلزالية ، ويعتبر ضمن أجهزة الإنذار فى الشبكة العالمية التى مركزها هونولولو والتى تقوم بتغطية منطقة المحيط الباسيفيكى كله بالنسبة للتحذير عند قدوم الموجات التسونامية .

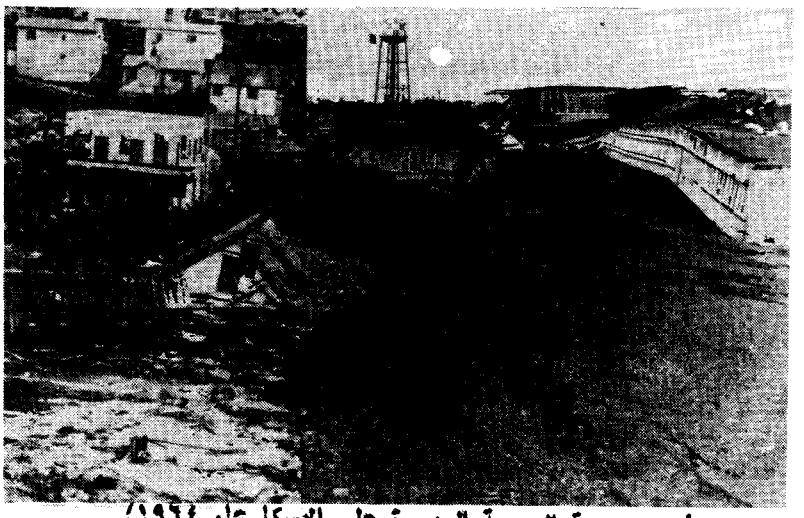
موجة شيلى التسونامية

كثيراً ما تعرضت شواطىء شيلى وسواحلها للغرق بفعل الموجات التسونامية على مدار التاريخ ، ففى عام ١٩٦٠ مثلاً وقع زلزال شيلى الكبير وتسبب فى تكوين أمواج تسونامية دمرت الكثير من الوديان بامتداد ٨٠٠ كيلومتر خلال سواحل وشواطىء أمريكا الجنوبية ، وما أن مرت ١٥ ساعة حتى كانت هذه الموجة قد هاجمت شواطىء جزر هاواى كما سببت الموجات التى هاجمت هيلو من جراء هذا الزلزال خسائر مادية قدرت بحوالى ثلاثة وعشرين مليون دولار أمريكى بالإضافة إلى مصرع حوالى ٦١ مواطناً . ولولا عمليات التحذير التى سبقت هذه الكارثة لارتفع عدد الضحايا بشكل كبير .

موجة آلاسكا التسونامية

تسبب زلزال آلاسكا فى عام ١٩٦٤ فى نشوء موجة تسونامية رهيبة أحدثت دماراً مروعاً بمجموعة المدن الواقعة فى المنطقة المجاورة لخليج آلاسكا إلى جانب تدمير مدينة شينيجا ومدينة كودياك تماماً ، كما أتت هذه الموجة العاتية على معظم أساطيل صيد السمك التى كانت مرابطة على شواطىء هذه المدن حيث حملت هذه الموجة العديد من المراكب ثم ألقت بها بعيداً داخل المناطق التجارية ، و لم تقنع الموجة المدمرة بهذا الحجم من الدمار ولكنها أضافت إليه مصرع ما يقرب من ١٧٠ مواطناً بينما لم يتعرض للموت فى الموانىء بسبب هذا الزلزال سوى تسعة مواطنين فقط .

وقد أدى هجوم الموجات التسونامية على السواحل القريبة لأمريكا الشمالية إلى حدوث دمار شامل مروع قدرت خسائره المادية بحوالى مائة مليون دولار أمريكى .



(آثار الموجة البحرية المدمرة على الاسكا عام ١٩٦٤)

وفى مدينة كريست بولاية كاليفورنيا الأمريكية لقى ١١ مواطناً مصرعهم بالرغم من استمرار التحذيرات لأكثر من ساعة عن قرب هجوم موجات تسونامية وقد بلغ ارتفاع الموجة التسونامية الأولى التى هاجمت المدينة ما يقرب من أربعة أمتار تلتها ثلاث موجات صغيرة متلاحقة ؛ لذلك تصور سكان المدينة أن موجة التسونامى قد انتهت ولن تعود إلى شواطئهم مرة أخرى وبدأوا فى إزالة آثار الهجوم وتنظيم المنطقة ولكنهم فوجئوا بهجوم الموجة التسونامية الخامسة ، ومن الغريب أنها كانت أكثر الموجات تدميراً حيث بلغ ارتفاعها حوالى ٦ أمتار ، وقد بلغت الخسائر المادية لهذا الهجوم الشرس ما يقرب من ٧,٥ مليون دولار أمريكى .

(سفينة صينية ملقاة بعد تسونامية الاسكا عام ١٩٦٤)

ولم يكن هذا الهجوم العنيف هو الأول من نوعه ولكن شواطىء ولاية كاليفورنيا سبق أن تعرضت فى عام ١٨١٢ لزلزال وقع فى جزيرة سانت كروز أعقبه ارتطام أكبر موجة تسونامية عرفتها شواطىء كاليفورنيا على مدار التاريخ ، وقد تم رصد الارتفاعات المختلفة لهذه الموجة فوجد أنها بلغت حوالى ١٥ متراً بالقرب من شواطىء جاميوتا فى كاليفورنيا بينما بلغت ٩ أمتار بالقرب من سانتا بربارا وحوالى ٥ أمتار أو أكثر عن شواطىء منثوراً .

أما زلزال بوينت ارجيولو فى عام ١٩٢٧ فقد تسبب أيضاً فى موجة تسونامية وصل ارتفاعها إلى (٢ متر) عند السواحل المحيطة بالمنطقة .

التنبـــؤ بالـــزلازل

التنبؤ بوقوع كارثة يعتبر من الفنون القديمة التى بدأت منذ خلق الإنسان ، وكان التنبؤ بوقوع الزلزال هو الشغل الشاغل والدائم للمنجمين الأوائل والكهنة وعلماء الفلك القدماء .

والواقع أن هناك بعض الأحداث الزلزالية المدمرة بمر التاريخ أمكن التنبؤ بها ، وغالباً ما ترجع صحة تنبوءات بعض الأفراد بحدوث الظواهر الطبيعية إلى شدة ارتباط هؤلاء الأفراد بالبيئة المحيطة بهم حيث يستندون فى تنبوءاتهم على الخبرات السابقة .

كذلك تبين أن الحيوانات يمكنها أيضاً التنبؤ بالزلازل ، فهى فجأة تبدو خائفة ومضطربة ، وتبدأ فى التصرف بطريقة غريبة قبل حدوث أحد الزلازل .

ولكن من الغريب أن معظم التنبوءات التى من هذا القبيل تكون غير ذات فاعلية لأن الناس عادة ما يكرهون فكرة توقع الكارثة .

فنجد مثلاً أن الزلزال الذى وقع فى تبريز بإيران عام ١٠٤٢ والذى استطاع أن يتنبأ به المنجم الرئيسى لإيران ، ولكن الرجل وجد صعوبة كبيرة فى إقناع الناس بأن يغادروا المدينة ، ولم يستمعوا إلى نصيحته أبداً ، وكانت النتيجة أن فقد حوالى ٤٠ ألف شخص حياتهم أثناء هذا الزلزال .

ولايزال الإنسان يتصرف بنفس الأسلوب حتى يومنا هذا وإن اختلف قليلاً ، فبالرغم من تحذير العلماء المستمر من خطورة بناء المساكن بطريقة عشوائية فى مناطق الصدوع النشطة ، إلا أن عملية البناء مازالت مستمرة فى أراضى من الخطر البناء فيها .

ويعتقد معظم الباحثين فى مجال الزلازل أن التنبؤ بالزلازل هدف يمكن الوصول إليه ، لذا بذلت كل الجهود الممكنة من أجل الوصول لهذا الهدف ، ولو أن البعض يرى أن نتائج التنبؤ ربما تكون ضارة وغير نافعة وخصوصاً عند فشل إحدى هذه التنبوءات ، فإن الناس بالتأكيد ستتجاهل أى تحذيرات بقرب وقوع كارثة بعد ذلك .

والمجتمع الحديث يواجه حالياً العديد من المشكلات نظرا للعوامل الاقتصادية والاجتماعية والسياسية المختلفة والتى تنطوى على مسائل معقدة عديدة ؛ مما يجعل هذه مثل هذه المجالات الأخرى الثانوية لا ترتكز على دراسات علمية كافية ، إلا أن التنبؤ بالزلازل مازال هدفاً ينظر إليه فى المدن التى تحدث بها زلازل شديدة تتسبب فى مصرع عشرات الآلاف من البشر بالإضافة للخسائر المادية الباهظة فى المنشآت الخاصة والعامة .

فاليابان مثلاً ــ التى تعتبر رائدة للدول التى تعيش فى رخاء وتقدم اقتصادى ملحوظ ــ نجد أن تكرار حدوث زلزال آخر مثل ذلك الزلزال الذى حطم طوكيو ويكوهاما عام ١٩٢٣ كفيل بأن يؤدى إلى إنهيارها اقتصادياً ، وقد يستغرق التخلص من آثار هذا الانهيار فترة لا بأس بها من الزمن .

أما الولايات المتحدة الأمريكية فتعتبر أوفر حظاً فى هذا المجال لأن معظم الزلازل التى تتعرض لها تحدث فى مناطق قليلة السكان باستثناء ولاية كاليفورنيا التى تعتبر ثالث أكبر ولاية أمريكية من حيث عدد السكان ، بالإضافة إلى كونها من أكثر المناطق فى العالم عرضة لوقوع الزلازل ، كما أن كاليفورنيا تعتبر مركزاً لعدة صناعات تكنولوجية هامة كما أن بها حوالى ١٠٪ من المصادر الصناعية والبشرية للولايات المتحدة الأمريكية حيث يقع حوالى

٨٥٪ من هذه المصادر في شريط يمتد بطول الحد القارى ليشمل حوالى ٢١ ولاية من الولايات الأمريكية تقع أيضاً ضمن المجال الزلزالى لصدع سانت أندرياس .

كما تتم فى منطقة وادى السيليكون التى تقع فى مقاطعة سانت كلارا بشمال كاليفورنيا تصنيع ما يقرب من ربع إنتاج الولايات المتحدة من أشباه الموصلات التى تستخدم فى صناعة الأجهزة الإلكترونية إلا أن هذه المقاطعة قد عانت كثيراً أثناء زلزال سان فرانسيسكو عام ١٩٠٦ .

ولكن الغريب فى هذا المجال أن معدل الكثافة السكانية يرتفع فى أقصى الشمال بالولايات المتحدة بالرغم مما سجله التاريخ من وقوع أحداث زلزالية فى هذه المناطق التى تعتبر مناطق خطرة الأمر الذى من شأنها أن يجعل حوالى $\frac{1}{3}$ سكان الولايات المتحدة الأمريكية إلى جانب الكثير من صناعاتها عرضة للخطر فى منطقتين من أخطر المناطق الزلزالية .

لذا فإن الولايات المتحدة تنفق ما يقرب من حوالى ١٧ مليون دولار سنوياً فى مجال التنبؤ بالزلازل .

وقد أوضحت الأبحاث العلمية أن التنبؤ بحدوث الزلازل القوية يمكن أن يتم قبل حدوث الكارثة بسنوات عديدة من خلال مناهج طويلة الأجل وهناك مناهج أخرى للتنبؤ قصيرة الأجل قد تصل إلى أسابيع أو حتى أيام قبل حلول الكارثة ، وهذه المناهج يمكن أن تتطور بحيث يصبح من الممكن أن تتخذ سياسة وقائية تقلل من حجم الخسائر فى الأرواح والممتلكات .

فأما المناهج الطويلة الأجل فإنها يمكن أن يكون مشجعاً للقيام بعمليات تقوية للمبانى والمنشآت القائمة فى مناطق الزلازل ، فضلاً عن دفع السلطات الرسمية المحلية للعمل على تنظيم استخدام وتوزيع الأراضى فى المناطق المهددة ، بالإضافة إلى تنظيم عمليات التأمين من الكوارث واتخاذ الإجراءات المنظمة لإخلاء المبانى القديمة أو الضعيفة أو المعرضة للحريق وأيضاً المبانى التى تمت بطريقة عشوائية .

كذلك المناهج قصيرة الأجل قد تلعب دوراً هاماً فى وقف العمل على إنشاء محطات لتوليد الطاقة النووية مثلاً أو محطات تقطير البترول ومحطات ضخ الغاز الطبيعى والتى يمكن أن تتم بطريقة عشوائية فى المناطق المعرضة للزلازل .

كما يمكن أيضاً من خلال مناهج التنبؤ قصيرة الأجل أن يتم إخلاء الأماكن التى تقع تحت مستوى السدود المائية أو تلك التى تقع تحت مستوى البحر ويمكن أن تتعرض لموجات بحرية زلزالية وفيضانات .

وقد نجحت الصين فى بعض التنبوءات بوقوع الزلازل ، حيث تمكنت فى سنة ١٩٧٥ من إخلاء المبانى السكنية ، ونقل الأفراد من منطقة زلزال هايشنج فى إقليم ليوننج مما أدى إلى إنقاذ حياة أعداد لا حصر لها من البشر ولكنها للأسف لم تتمكن من القيام بنفس العمل فى مواجهة الزلزال الذى هاجم منطقة تانجسان فى العام التالى حيث تسبب هذا الزلزال فى مصرع ما يقرب من ٦٥٠ ألف شخص إذ لن يسبق وقوع هذه الكارثة أى مظاهر معروفة للتحذير ، الأمر الذى يوضح أن عملية التنبؤ بالزلزال فى الصين مازالت لم تكتمل بعد شأنها شأن باقى الدول .

كما أن نجاح الصين فى إخلاء هايشنج عام ١٩٧٥ قد لا يمثل مقياساً بالنسبة لبعض المدن الكبرى مثل المدن الأمريكية مثلاً ؛ لأن المجتمع الصينى مجتمع منظم وتحكمه الصرامة مما أدى إلى نجاح عملية الإخلاء أما فى المدن الأمريكية فربما يكون الإخلاء السكانى صعباً إن لم يكن مستحيلاً نظراً للطبيعة المستقلة التى تتميز بها الشخصية الأمريكية .

كذلك أوضحت الخبرة العملية أن بعض الناس يتشبثون بمنطقة معينة ولأسباب متعددة ومختلفة قد تكون مناخ هذه المنطقة أو أهميتها الاقتصادية أو موقعها أو تميزها بصفة خاصة ، ومن الغريب أن مثل هذه المدن أو المناطق إذا تعرضت للدمار من جراء الكوارث الطبيعية سرعان ما يعيد الناس بناءها وفى نفس الموقع ، لذا تعتبر عملية إجبار الناس على ترك أراضيهم عملية مكروهة وتتسبب فى العديد من المشاكل التي يصعب حلها .

لذا فقد أنشيء فى كاليفورنيا عام ١٩٨٠ مشروع يدعى مشروع « حسن الاستعداد للزلزال » ويهدف هذا المشروع إلى تطوير الخطط حتى يمكن استخدام التنبوءات بشكل فعال وحتى يمكن الحد من الآثار الاجتماعية والاقتصادية المترتبة على وقوع الزلزال .

وعملية التنبؤ بالزلازل يمكن أن تتم من خلال اكتشاف بعض العلامات والظواهر التى تنذر بحدوث الزلزال ، كما يستلزم أيضاً التنبؤ بالطقس ، إذ أن الزلازل تتسبب فى خسائر فادحة للمناطق السكنية من جراء الأعاصير أو الفيضانات التى تحدث كنتيجة لوقوع بعض الزلازل .

وفى أواخر الستينات من هذا القرن نجح العالمان الروسيان (ا ، ن سيمينوف ، ا . ب شيرسيوف) فى الوصول إلى بعض النظريات التى بهرت العالم فى مجال التنبؤ بالزلازل ، حيث أعلنا اكتشاف الاختلافات التى تحدث فى سرعة الأمواج الزلزالية كما اكتشفا أيضاً وجود تغيرات فى المقاومة الكهربية للصخور فى منطقة الصدع ، كما اكتشفا ازدياد حجم غاز الرادون المشع فى الآبار العميقة قبل بدء وقوع الزلازل فى مدن طشقند وتاوزبكيستان و كامساتكا .

وقد أحدثت هذه الاكتشافات طفرة كبيرة فى مجال التنبؤ بالزلازل ، حيث يمكن من خلال الأجهزة المناسبة مراقبة بعض المؤشرات مثل التغيرات فى المقاومة الكهربية إلى جانب مراقبة درجة الحرارة والضغط وتكوين السحب للتنبؤ بالطقس ، كما يمكن أيضاً ملاحظة حجم غاز الرادون فى مياه الآبار الأمر الذى يمكن أن يكون مؤشراً حساساً بالنسبة للنشاط الزلزالى حيث يتسرب هذا الغاز المشع ويبدأ فى الانطلاق عند بداية تصدع الصخور وقد استخدم الاتحاد السوفيتى والصين تقنيات متقدمة فى هذا المجال ، كذلك توجد بعض المؤشرات الأخرى بالنسبة لوقوع الزلازل تشمل وجود تغيرات فى المقاومة بطول الصدع ويتم قياسها من خلال تغذية الأرض بتيار كهربى يمر بين نقطتين تبعدان عدة كيلومترات عن بعضهما البعض ، ثم تتم ملاحظة التغيرات التى تحدث فى الفولت الكهربى نتيجة للتغير فى مقاومة صخور القشرة الأرضية المتداخلة .

كما أن مقاييس شدة المجالات المغنطيسية (ماجنيتوميتر) على سطح الأرض يمكنها أيضاً أن توضح تلك التغيرات الضئيلة التى تحدث فى المجال المغناطيسى لمنطقة مركز الزلزال ، كما أن جهاز قياس الجاذبية (جرافيميتر) يمكن أن يحدد الحركة العلوية للقشرة الأرضية .

هذا ويقوم علم إحصاء الزلازل بالربط ما بين هذه المؤشرات وبين المعلومات التى توضح الحركات التكتونية للصدع وللشرائح الأرضية مما يتيح إمكانية التنبؤ بالزلازل وتحديد المناطق التى يمكن أن تكون عرضة لزلازل خطيرة بالإضافة إلى إمكانية تقدير نسبة الأضرار التى يمكن أن يحدثها الزلزال فى هذه المناطق .

هذا وقد أمكن أيضاً تحديد عمر الطبقات من خلال دراسة الآثار الجيولوجية التى وجدت حول صدع سانت أندرياس من أثر الزلازل التى تعود إلى حوالى ٢٠ مليون سنة مضت ، حيث وجدت قنوات على أحد جوانب الصدع وتبين وجود نظير لها على الجانب الآخر من الصدع ، ومن خلال قياس حجم الإزاحة فى الطبقات الصخرية أمكن تقدير عمر الطبقات بواسطة الكربون المشع .

وكان لهذه الدراسات الفضل فى إمداد علماء الزلازل بسجل تاريخى لهذه المنطقة يعود إلى ما يقرب من ١٤٠٠ سنة مضت تخللها حدوث ١٢ زلزالاً كبيراً ، وتبين أن الفترة الفاصلة بين الزلازل تتراوح بين ٥٠ إلى ٣٠٠ سنة ويصل متوسط هذه الفترة إلى حوالى ١٥٠ سنة تقريبا ، وقد مضى الآن ما يقرب من ١٣٠ سنة على وقوع آخر الزلازل الضخمة فى الحد الجنوبى لصدع سان أندرياس .

كما وجد أيضاً أن المعدل الذى تتراكم عنده الالتواءات بطول الصدع يصل إلى ٣,٨ سم فى السنة تقريبا ، وعندما يصل مجموع هذه الالتواءات إلى حوالى ٤,٥ متر فإن هذا من شأنه أن يؤدى إلى حدوث زلزال قوى .

وقد أثبتت الدراسات أيضاً أن المناطق التى تتميز بالنشاط الزلزالى تتعرض لعدد من الزلازل المتوسطة والصغيرة الشدة إلى جانب تلك الزلازل الشديدة

القوة ، وقد وجد أن هذه الزلازل المتوسطة تحدث كل ٢٢ سنة تقريباً بينما تحدث عدة زلازل صغيرة سنوياً ويمكن ملاحظة فترات الهدوء النسبى التى تسبق الحركة الزلزالية الرئيسية .

وقد لوحظ أن النشاط الزلزالى يبدأ بأدنى درجات للشدة ثم يأخذ فى الازدياد فجأة قبل حدوث الهزة الرئيسية .

ومن الأمثلة الواضحة لهذه الظاهرة الطبيعية ذلك الحشد من الزلازل الصغيرة أو الارتجافات الأولى التى سبقت زلزال هايشنج فى الصين عام ١٩٧٥ ، ومن الغريب أن هذا الحشد من الهزات الصغيرة بدأ قبل وقوع الهزة الرئيسية بحوالى شهرين وكانت هذه الهزات تتحرك فى شكل حزام امتد بطول عدة مئات من الكيلومترات .

وفى وسط آسيا وجد الباحثون السوفييت أن الضغط الذى تمارسه الرجفات الزلزالية يتخذ شكلاً عشوائياً أثناء فترة الهدوء إلا أنه يصير بالغ التنظيم قبل ثلاثة أو أربعة أشهر من حدوث الهزة الرئيسية ، كما وجدو أن هذه الضغوط تتراص فى اتجاه الهزة التى ستحدث .

وقد اتضح لعلماء الزلازل أن الزلازل الكبيرة يمكن أن تمدنا بتحذيرات لا بأس بها قبل وقوعها ، كما اتضح أيضاً أن التنبؤ بمستوى شدة الزلزال يمكن أن يعتمد على مراقبة ودراسة الفترة التحذيرية التى تسبق وقوعه فمثلاً إذاكان الزلزال شدته ٥,- درجات بمقياس ريختر فإن الفترة الزمنية التى تسبقه قد تصل إلى حوالى ٤ أشهر ، أما إذا بغلت شدته حوالى ٧,- درجات بمقياس ريختر فإنه فى هذه الحالة يكون متضمناً لحجم من الطاقة يفوق آلاف المرات حجم الزلزال الأول ، لذا فإن الزلزال يمكن أن يبدأ فى إرسال التحذيرات والإنذارات قبل وقوعه بعدة سنين . وهكذا نجد أنه كلما كان حجم الزلزال المتوقع ضخماً وعظيماً كانت الفترة التحذيرية التى تسبقه ومن ثم يصبح من الممكن القيام بعمل الإجراءات اللازمة والتخطيط الجيد لتجنب ما أمكن من آثاره المدمرة .

ولكن يجب ألا نغفل سوء الحظ الذى يمكن أن يحدث فى بعض الحالات إذ أن الطبيعة لا تتصرف دائماً بما يتفق مع الخطط البشرية ، ومن الممكن

أن يقع زلزال فجأة وبدون أى توقع ، فمثلاً فى عام ١٩٧٤ تعرضت منطقة تقع على بعد ١٦,٥ كيلومتر من شمال هوليستر فى وسط كاليفورنيا لزلزال بلغت شدته ٥,- درجة بمقياس ريختر وقد سبقت رجفاته بعض التغيرات الواضحة بالإضافة إلى تقلبات مغناطيسية وتغيرات فى السرعة الزلزالية ، وقد تم بنجاح التنبؤ بهذا الزلزال .

بينما زلزال كاليفورنيا المدمر الذى حدث فى عام ١٩٨٤ وبلغت شدته ٦,- درجات وفى نفس المكان وبنفس القوة التى سبق التنبؤ بها إلا أن ضرب ضربته العاتية بدون إرسال أى إنذارات أو تحذيرات مسبقة .

ولكن كل ما يمكن قوله حالياً فى مجال التنبؤ بالزلازل هو أن تحقيق جزء من النجاح يعتبر أفضل من لا شىء خصوصاً وأن هناك بعض الاعتراضات على عملية التنبؤ بالزلازل ومن أقوى هذه الاعتراضات ذلك الرأى الذى يخشى من الآثار المترتبة على حدوث ذعر واضطراب جماهيرى عند التحذير من وقوع زلزال وشيك .

بالإضافة إلى أن الإخفاق فى التقدير قد يؤدى إلى عدم إصغاء الجماهير لأى تحذير آخر بوقوع الزلازل مما يؤدى إلى الفشل فى إجراء الاحتياطات اللازمة قبل وقوع الزلزال مثل غلق المنشآت الصناعية العشوائية ، ويظهر هذا العامل بوضوح فى حالات التنبؤ بهجوم الموجات البحرية التسونامية إذ أن طبيعة هذه الأمواج لا تتيح الفرصة الكافية لإمكانية التنبؤ بها مما يؤدى إلى الكثير من الأخطاء فى عمليات التحذير وخصوصاً تلك التحذيرات التى توجه إلى مناطق أخليت من السكان بلا ضرورة أو مناطق مستوطنة بالسكان الذين يتجاهلون التحذيرات وخير مثال على ذلك ما حدث فى السابع من شهر مايو عام ١٩٨٦ عندما تم التنبؤ بهجوم موجة تسونامية على الشواطىء الغربية نتيجة لوقوع زلزال فى ذلك الوقت عند منطقة اليوتيان حيث بلغت شدته ٧,٧ درجة بمقياس ريختر ولكن ولحسن الحظ لم تصل هذه الموجة كما كان مقدراً لها وبسبب لم يتضح حتى الآن ، لذلك تجاهل الناس التحذير الذى وجه إليهم بعد ذلك بشأن هجوم موجة تسونامية أخرى مشابهة حدث أن هاجمت مدينة هيلو فى عام ١٩٦٠ مما أدى إلى خسائر فادحة فى الأرواح .

برامج أبحاث الزلازل

هناك المئات م الجيولوجيين والجيوفرياقيين المتخصصين فى علم الزلازل خاصة فى الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتى واليابان والصين وهؤلاء العلماء يعكفون على دراسة المظاهر الزلزالية المختلفة إلى جانب العمل فى برامج للأبحاث الخاصة بالتنبؤ بالزلازل التى تسير قدماً يوماً بعد يوم حيث تنفق مبالغ باهظة فى هذا المجال ، فالولايات المتحدة مثلاً تنفق ما يقرب من ٤٣ مليون دولار سنوياً فى مجال برامج أبحاث الزلازل التى تتضمن دراسة طبيعة الزلازل والتعرف على إشارات لغة تراكم الالتواءات فى الطبقات الأرضية المختلفة حتى يمكن التوصل إلى أسباب تكوين الزلازل ، هذا إلى جانب دراسة هندسة المبانى والأساليب الحديثة فى تصميم المبانى والمنشآت المقاومة للزلازل كما يتم الآن أيضاً دراسة مناهج أخرى عديدة مثل مراقبة مستوى المياه فى مجموعات من الآبار ومراقبة انطلاق غاز الرادون بالإضافة إلى دراسات أخرى تتم فى المناطق المعرضة للزلازل .

وهذه البرامج تعتبر مؤثرة وفعالة إلى حد بعيد بالرغم من الخطورة التى تتعرض لها حياة هؤلاء الجنود المجهولين الذين يقومون بالعمل فى هذا المجال .

وفى موسكو بالاتحاد السوفيتى يوجد معهد للطبيعة متخصص فى دراسة الأرض وتتضمن برامج الأبحاث هناك القيام بقياسات ميدانية وعملية تشبه تلك القياسات التى تتم فى الولايات المتحدة الأمريكية ، إلا أن التجارب الميدانية فى الاتحاد السوفيتى ترجع إلى ٣٠ عاماً مضت كما أن الفضل يرجع إليها فى نجاح جهود اكتشاف وجود تلك المجموعة من التحذيرات التى وجد أنها تسبق وقوع الزلازل .

هذا وتختلف استراتيجية الباحثين السوفيت عن استراتيجية أقرانهم فى الولايات المتحدة إلى حد ما ، حيث أقام الاتحاد السوفيتى عدة مواقع تجريبية فى وسط آسيا وكامكاتا وزودت هذه المواقع بعدد من الأجهزة التى تغطى مساحات كبيرة .

أما الولايات المتحدة فقد كثفت من حجم الأجهزة المستخدمة والتى تركزت معظمها فى منطقة صدع سانت أندرياسى الشهير .

ويحاول الاتحاد السوفيتى من خلال هذه الأبحاث اكتشاف مناهج جديدة للتنبؤ بالزلازل إلى جانب استحداث تقنيات جديدة ، ولكن المهم فى هذا الشأن هو عملية تبادل الأفكار والآراء التى تتم بين علماء الزلازل فى الولايات المتحدة الأمريكية وزملائهم فى الاتحاد السوفيتى وغيره من البلدان الأخرى فى مجال أبحاث التنبؤ بالزلازل الأمر الذى من شأنه أن يخلق نوعاً من القاعدة الدراسية الواسعة النطاق والتى ربما لا تستطيع أى من الدولتين إنجازها بمفردها .

أما فى اليابان فقد كرس علماء الأرض هناك معظم جهودهم البحثية منذ بداية هذا القرن فى عمليات التنبؤ بالزلازل لأسباب تتصل بطبيعة تلك البلاد ورغم ذلك فإن برنامج الأبحاث الرسمى فى اليابان لم يتخذ مجراه حتى عام ١٩٦٥ ، وظلت اليابان تصدر التقارير عدة سنين متوالية حول التغيرات الغير منتظمة التى تسبق وقوع الزلازل بالنسبة للميل ولمستوى البحر ، إلا أن هذه التقارير كانت ضئيلة وذات مستوى بحثى منخفض مما جعل أغلب علماء الغرب يعملون على تجاهلها ، ولو أن بعض هذه التقارير توضح الظواهر التحذيرية الحقيقية .

ويقوم برنامج الأبحاث اليابانى بتأكيد عمليات المساحة الأرضية كل خمس سنوات لتشمل مساحات واسعة تمتد إلى ١٥ ألف كيلو يتم خلالها تزويد الملاحظين بأجهزة للكشف عن الالتواءات وأخرى لقياس درجات الميل فى الطبقات وتدوين الملاحظات حول مستويات الزلازل والتغيرات فى السرعة الزلزالية والظواهر المغناطيسية والكهربية المتصلة بهذا المجال ، ويعتبر التعاون حالياً وثيقاً بين الولايات المتحدة الأمريكية واليابان فى هذا الشأن .

أما الصين فقد أقدمت على عمل برنامج ضخم للتنبؤ بالزلازل عقب كارثة الزلزال المدمر عام ١٩٦٦ فى مقاطعة ليونيج حيث خصصت ما يزيد على

١٠ ألف عالم ومهندس وفنى للعمل فى هذا البرنامج ، كما تطوع ما يقرب من ٣٠٠ ألف متطوع للمساعدة فى رصد الإنذارات الزلزالية ، وقد لوحظ أثناء العمل فى هذا البرنامج تلك التصرفات الغريبة التى تظهر على الحيوانات والتى تعتبر نوعاً من الإنذار للزلازل إلا أن العلماء فى الصين وجدوا أنها لا تستحق الاهتمام .

هذا وقد أنشأت الصين أيضاً برنامجاً تعليمياً مكثفاً فى هذا المجال ومن المؤكد أن التقدم الذى أنجزته الصين خلال برنامج الأبحاث وتلك العمالة المكثفة إلى جانب عدد العلماء والأجهزة سيكون له الأثر الفعال فى إنقاذ أرواح البشر من كوارث الزلازل المدمرة وقد تصبح الصين من رواد العالم فى مجال التنبؤ بالزلازل .

وقد أقام الباحثون فى الولايات المتحدة الأمريكية شبكة من المحطات التلفزيونية فى وسط كاليفورنيا ، وزودت هذه الشبكة بأجهزة لقياس الزلازل وأجهزة لقياس الانحدارات الأرضية فى منطقة صدع سان أندرياس إلا أن الملاحظات المغناطيسية والكهربية التى استنبطت كانت ضئيلة ، أما فى جنوب كاليفورنيا فقد تم استخدام عدد كبير من الأجهزة فى عمل مشترك بين الفنيين فى مختلف التخصصات وبين علماء البحث الجيولوجى حيث كانت البيانات تتوالى من خلال هذه المجموعة البحثية وتنتقل هذه المعلومات عبر أجهزة الإرسال ، وقد نجحت هذه المجموعة من العلماء فى تسجيل ما يقرب من ١٠ آلاف رجفة أرضية خلال عام ١٩٨٤ بالإضافة إلى قيامهم بتحديد مواقع الزلازل بدقة ومراقبة سرعة إنذارات وقوع الزلازل والتغيرات فى المقاومة الكهربية .

هذا وقد تم تطوير أجهزة القياس حتى يمكنها العمل بطريقة مستمرة وخلال الظروف المختلفة مثل جهاز « العداد الزاحف » وجهاز « عداد الثقب الضاغط » ، وقد أوضحت قراءات هذه الأجهزة أن أجزاء من جنوب كاليفورنيا ترتفع سنوياً بمقدار يعادل ١٠,١٦ سم تقريباً ، لذا فقد رأى العلماء أن مثل هذا التزحزح فى القشرة الأرضية قد يفرض تصور وقوع زلزال

وشيك ، خصوصاً وأن منطقة باركفيلد بكاليفورنيا تشتهر بانتظام وقوع الزلازل منذ القدم حيث يندلع هناك زلزال متوسط الشدة كل ٢٠ أو ٢٧ عاماً وقد وقع آخر زلزال فى عام ١٩٦٦ مما يعنى احتمال قرب وقوع الزلزال التالى .

وقد وضع علماء الجيولوجيا ساعتين للزلازل تشبه الساعات المستخدمة للأعاصير ، وقد وضعت إحدى الساعتين لرصد الزلازل الكبرى فى جنوب كاليفورنيا بينما الأخرى للزلازل المتوسطة فى منطقة بحيرات ماموث بشرق كاليفورنيا .

وفى أمريكا تعتبر محطات رصد موجات البحر الزلزالية والتى تديرها وكالة الأرصاد القومية الأمريكية بمثابة مركز متطور للبحث العلمى فى فروع ومجالات متنوعة خاصة بالمحيط الباسفيكى ، إذ أن هذه المنطقة مسئولة عن حوالى ٩٠٪ الموجات التسونامية المسجلة فى العالم ، وتقوم كل محطة من محطات الرصد بمراقبة وتسجيل موجات البحر التى تمر أمامها لمعرفة مدى تطور هذه الموجة ، وقد أصبح من السهل الآن حساب الموجه من خلال البيانات المتوفرة كما أصبح من الممكن التعرف على المناطق السكنية المعرضة لخطر هجوم هذه الموجات فى منطقة المحيط الهادى ، فمثلاً الموجة التسونامية التى تكونت بسبب زلزال آلاسكا لاحظ العلماء أن الممكن وصولها إلى شواطىء هاواى فى ٦ ساعات وإلى اليابان خلال ٩ ساعات وإلى شواطىء الفلبين خلال ١٤ ساعة . كما توصل هؤلاء الباحثون إلى أن الموجة التسونامية التى تهاجم شواطىء شيلى يمكن أن تصل إلى هاواى فى ١٥ ساعة وإلى اليابان خلال ٢١ ساعة ويعتبر هذا وقتاً كافياً لإرسال عدة تحذيرات بقدوم هذه الموجة للعمل على اتخاذ الاحتياطات اللازمة وتجنب ما أمكن من الوفيات والخسائر المادية .

محاولة خفض أذى الزلازل

بالرغم من مجموعة الإنجازات العلمية الناجحة فى مجال التنبؤ بالزلازل إلا أننا حتى الآن لا نملك الضمانات الكافية والتى تؤكد نجاح هذه التنبوءات ، كما أننا لا نستطيع أن نمنع وقوع هذه الكوارث المدمرة ؛ لذا فالأمر يتطلب وضع برنامج شامل للإقلال من حجم الخسائر والأضرار ومحاولة التخفيف من هذه الزلازل .

وقد وردت فكرة السيطرة أو التخفيف من حدة الزلازل من قبيل الصدفة أثناء قيام بعض العلماء بإجراء مجموعة من الدراسات الخاصة بالنشاط الزلزالى خلال الفترة ما بين عامى ١٩٦٢ ، ١٩٦٦ ، وكانت هذه الدراسات تتم فى موقع عند جبل أرسينال الصخرى فى منطقة دنفر بالولايات المتحدة وكان الاعتقاد السائد ولفترة ٨٠ سنة قبل عام ١٩٦٢ أن منطقة دنفر لا تتميز بالنشاط الزلزالى طبقاً لتقارير المساحة الجيولوجية لهذه المنطقة لهذا أقيم مصنع لإنتاج المواد المستخدمة فى الأسلحة النووية خارج منطقة دنفر ، وفى عام ١٩٦٢ بدأ هذا المصنع فى التخلص من نفاياته المتخلفة من إنتاج هذه المواد النووية ، وذلك من خلال دفن هذه النفايات فى بئر على عمق ٣٦٥٠ متراً وقد استمرت عملية حقن سوائل النفايات من أبريل ١٩٦٢ وحتى سبتمبر ١٩٦٥ وقد لاحظ العلماء القائمون بالأبحاث الزلزالية أن خلال فترة حقن النفايات حدث ما يقرب من ٧٠٠ زلزال بسيط أمكن الإحساس به ، وقد تم تسجيل هذه الهزات ، وقد لوحظ هبوط واضح فى النشاط الزلزالى عندما توقف الحقن لمدة عام ، وما أن استؤنف الحقن مرة أخرى حتى بدأت الرجفات الزلزالية .

وقد سجلت بعض الزلازل الأخرى التى حدثت بفعل النشاط البشرى أيضاً وذلك فى المناطق القريبة من الخزانات المائية الكبرى مثل بحيرة ميد التى تقع على الحدود بين ولايتى أريزونا ونيفادا ؛ إذ لوحظ أنه منذ امتلاء هذه البحيرة فى عام ١٩٣٦ تم تسجيل المئات من الرجفات الأرضية البسيطة والتى يعتقد أنها قد حدثت بسبب ازدياد وزن المياه عن سعة البحيرة ، مما أدى إلى انتفاخ

القشرة الأرضية بنسبة بسيطة ، ويعتقد أن انزلاق الصدع يزداد بسبب المياه التى تنتشر بين الطبقات السفلى .

أما فى الهند فيعتقد أن خزاناً كبيراً كان هو المسئول عن انفجار أحد الزلازل المدمرة وتسبب فى مصرع حوالى ٢٠٠ شخص .

هذا ويعتقد أن تجارب الانفجارات النووية التى تتم تحت سطح الأرض مسئولة أيضاً عن سلسلة من الزلازل التى تحدث بعد هذه التجارب .

وقد أوضحت التجارب الميدانية والمعملية أن الحقن بالسائل فى منطقة الصدع يقلل من مقاومة الاحتكاك أى أن الحقن بالسائل يسهام فى إضعاف الصدع ، كما أن سحب هذا السائل يؤدى إلى تقوية الصدع مرة أخرى .

وقد أُجْرِىَ اختبار ميدانى مثير فى هذا المجال حيث قام الباحثون بحقن بئر فى أحد حقول رانجلى للنفط فى شمال غرب ولاية كولورادو ، ثم سحبت سوائل الحقن مرة أخرى فوجد أنه من الممكن بدء النشاط الزلزالى ثم وقفه .

وهذه النتائج الملحوظة من الممكن أن تمتد لتشمل التحكم فى الصدوع الكبرى مثل صدع سانت أندرياسى فى جنوب كاليفورنيا حيث يمكن الحد من تهديد الزلازل الكبرى من خلال تفجير مجموعة من الزلازل البسيطة أما عن طريق الحقن بالسوائل أو من خلال الانفجارات النووية البسيطة .

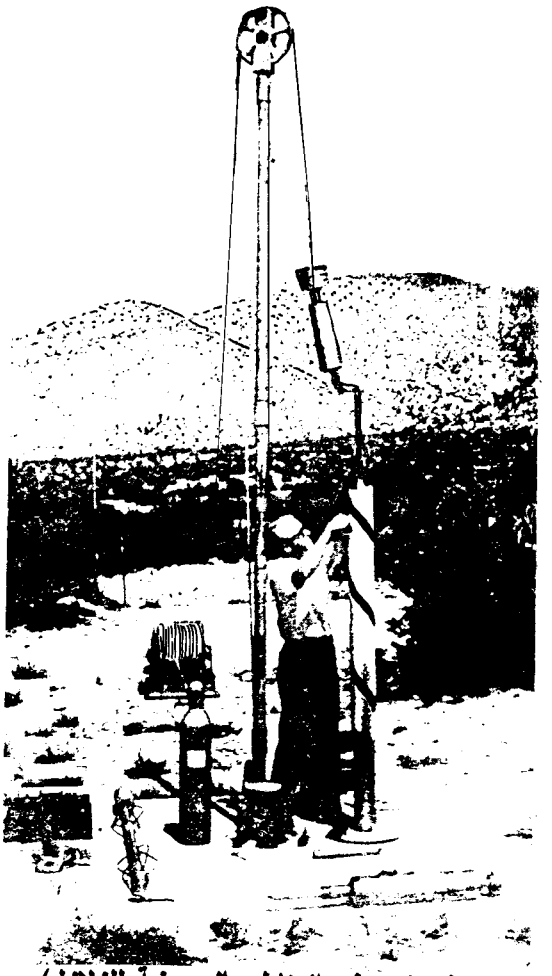
فإن هذه الأساليب التى تعمل ببطء وباستمرار قد تنجح فى إطلاق سراح تلك الضغوط الداخلية التى يؤدى تعاظمها إلى الانطلاق فى صورة زلزال شديد القوة . ولو أن مشاكل التحكم فى الزلازل متعددة وتحتاج إلى الآلاف من الهزات الصغيرة حتى تعادل تلك الطاقة التى تنطلق من زلزال واحد عنيف .

ومن الصعوبات التى تواجه مثل هذه الأساليب أيضاً أن عملية الثقب فى مناطق الصدوع تعتبر عملية بالغة الصعوبة وغير مستقرة حيث تتسبب الصخور المحطمة فى حدوث انهيارات جانبية إلى جانب فقدان ذراع الحفار ، كما أن الصدوع تختلف عن بعضها البعض ، فهناك الصدوع الضحلة التى يمكن

(لوحة تكونت على أثر التجارب الذرية)

الوصول إليها بواسطة تكنولوجيا الثقب الحديثة كما فى حالة صدع كاليفورنيا بينما البعض الآخر من الصدوع من الصعب الوصول إليه .

أما أغرب المشاكل التى قد تواجه العلماء بل يمكن أن تكون أسوؤها على الإطلاق هى أن عملية الثقب فى الصدوع قد تتسبب هى نفسها فى حدوث نفس الزلزال الذى يحاول العلماء الحد من وقوعه ، وهكذا نرى أن الطبيعة لا تستسلم بسهولة أمام محاولات الإنسان لقهرها .



(عملية الثقب فى المناطق المعرضة للزلازل)

تطوير المباني المعرضة للزلازل

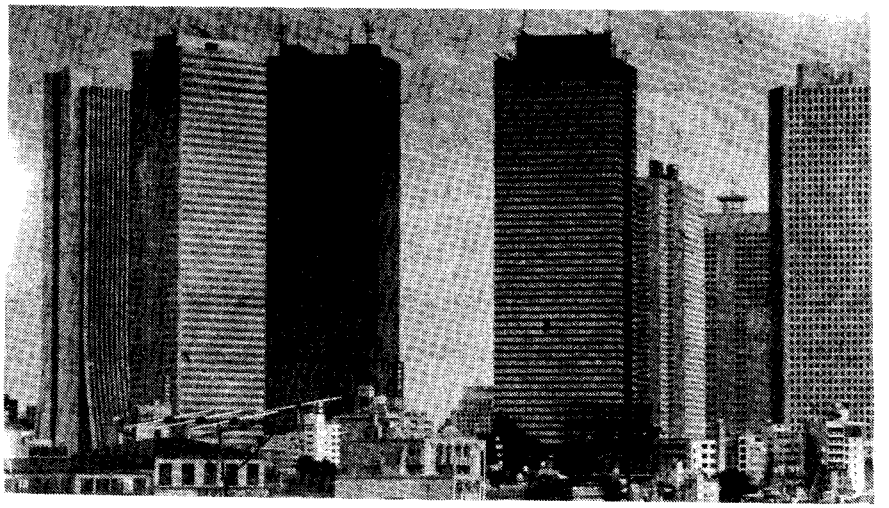
كانت المساكن فى العصور القديمة بسيطة التكوين وكانت هذه المساكن تقاوم أعتى الزلازل بالرغم مما كانت تبدو عليه من ضعف ؛ إذ أن السكان فى الحضارات القديمة والذين عاشوا فى مناطق كثيرة التعرض للزلازل قد تعلموا كيف يحمون أنفسهم من خلال بناء مساكن بالغة البساطة ، فمثلاً كانت منازل اليابانيين القدماء تتكون من هيكل بسيط من القطع الخشبية الكبيرة المتراصة تتخللها أخشاب البامبو اللينة ثم يسوى السطح بالطين ، وكانت هذه المنازل تستقر على مربعات صخرية كبيرة وغائرة فى الأرض بدون دعامات ؛ لذا كان تأثير الزلزال على هذه المنازل يشبه إلى حد كبير عملية هز سلة ضخمة مجدولة من البامبو .

أما فى مجتمعات أمريكا الجنوبية ، فكانت المبانى تتكون من دور أرضى متين ومشيّد من الأحجار ، أما الدور العلوى فمن الأخشاب الخفيفة ومن الغريب أن هذه المنشآت كانت قادرة على الصمود أمام هزات الزلزال ولكن من العجيب حقاً أن تطور الإنسان أدى إلى تطور أيضاً فى وسائل الراحة والأدوات المستخدمة أصبحت أكثر تعقيداً ، الأمر الذى جعل من أضرار الزلازل مشكلة خطيرة وباهظة الثكاليف .

ونجد الآن أن معظم المراكز العصرية الكبيرة القائمة هى عبارة عن خليط من القديم والحديث حيث اندمجت المبانى الحديثة ، مع تلك المبانى التى يعود تاريخها إلى مائة عام مضت أو أكثر ، وبعضها قد ضعف على مدار الزمن .

كما نجد أيضاً أنه بمرور الوقت وارتفاع سعر أراضى البناء اضطر المعماريون إلى الارتفاع بالمبانى حتى وصلت بعض المنشآت إلى ارتفاعات شاهقة .

ونظراً لأن العامل الاقتصادى أصبح عاملاً جوهرياً نجد أن التصميمات والخامات أصبحت فى بعض الأحيان لا تتفق تماماً مع قوانين البناء من أجل توفير المزيد من النقود .



(ناطحات السحاب المقاومة للزلازل فى طوكيو باليابان)

(انهيار بعض المبانى وصمود البعض الآخر فى مدينة شارلستون
فى ١٨٨٦)

ولكن هناك بعض المنشآت التى يجب بالضرورة أن تصمد أمام الزلازل الشديدة مثل المستشفيات والمدارس والمبانى التابعة للمؤسسات الحكومية .

وتعتمد قدرة المبانى على الصمود أمام الهزات الأرضية على عوامل كثيرة ومتعددة منها على سبيل المثال نوع التربة التى تم البناء عليها وعلى تصميم البناء وموقعه بالنسبة لموجة الاهتزاز هذا إلى جانب نوع المواد المستخدمة فى البناء وأيضاً مدى كفاءة العمالة المستخدمة ، هذا بالإضافة إلى طبيعة الهزة الأرضية ، فمثلاك الهزة الأرضية القصيرة ذات التردد العالى الحاد والتى تدوم لثوان معدودة فقط تعتبر بالنسبة للمهندس أمراً من السهل قهره نسبيا ، ومن اللافت للنظر أن المنازل المكونة من طابقين إلى أربعة طوابق تعد من أكثر المنازل عرضة للانهيار أثناء حدوث مثل هذا النوع من الهزات الأرضية ، بينما المبانى العالية وناطحات السحاب مثلاً من الممكن أن تنجو من مثل هذه الهزات القصيرة ودون أن يلحقها الضرر الشديد .

أما الهزة الطويلة ذات التردد القصير والتى تدوم لمدة دقيقة أو أكثر فتعتبر أمراً مختلفاً تماماً ، وإذا لم يتم تصميم المبنى المتعدد الطوابق تصميماً جيداً ، فإن هذا المبنى يمكن أن ينهار بأكمله ونجد كل طوابقه محددة على سطح الأراضى أما تلك المبانى ذات الطوابق القليلة لم يصبها الضرر .

ويتناول مجال هندسة الزلازل كل التصميمات الاقتصادية للمبانى والتى تستطيع أن تصمد أمام الهزات الأرضية ، بالإضافة إلى تغيير المبانى الموجودة بالفعل مثل المساكن والمبانى التجارية والمدارس والمستشفيات وأيضاً السدود والكبارى والتى يجب أن تختبر جيداً من حيث قوة التحمل .

كما أن هناك بعض المبانى التى شيدت بطريقة عشوائية والتى كثيراً ما تنهار فى مواجهة الزلازل بسبب انهيار الأرض التى شيدت عليها كما حدث فى مأساة مدينة انكوراج أثناء زلزال آلاسكا عام ١٩٦٤ حيث تعرضت طبقة من الطَّفْلَة تمتد تحت سطح المدينة إلى ظاهرة السيولة الصخرية مما تسبب فى انزلاق الأرض واتجاهها نحو البحر .

كما أن الهزة الأرضية الشديدة قد تفقد التربة قدرتها على تحمل المبانى كما

قد تؤدى إلى سيولة التربة الحاملة لهذه المبانى لذا فمن الضرورى أن يتم الحد من إقامة المنشآت فى المناطق التى تتعرض تربتها للهبوط أو فى المناطق التى تقع على امتداد الصدوع النشطة إلى جانب أيضاً تلك المناطق المعرضة للانزلاق الأرضى والمناطق الساحلية المعرضة للموجات البحرية الزلزالية ، وكل هذه الظواهر تعتبر من العوامل الهامة بالنسبة للعاملين فى مجال هندسة الزلازل .

لذا فقد قام المهندسون وعلماء الزلازل إلى جانب بعض العلماء من التخصصات الأخرى فى أمريكا بوضع أربع نظريات لطرق تصميم وبناء المبانى والمنشآت التى تقاوم الزلازل .

وقد وضعت هذه النظريات تحت الاختبار العملى عندما وقع زلزال سان فرناندو فى صباح أحد أيام عام ١٩٧١ وكانت قوة هذا الزلزال ٦,٦ درجة واستمر لمدة دقيقة ، حيث وجد أن المساكن ذات الطابق الواحد كانت أفضل فى التحمل من المساكن ذات الطابقين أو أكثر كذلك كان الفرق بسيطاً بين المساكن ذات الأرضيات الخشبية وتلك المكسوة بالبلاط .

وقد لوحظ بوجه عام أن المنازل الحديثة البناء قد صمدت أمام الهزات الأرضية بصورة أفضل من المنازل القديمة أما المساكن الرديئة التنفيذ فى البناء أو الخفيفة فقد تعرضت للضرر .

أما المدارس فقد فشلت فى الصمود أمام هزات ذلك الزلزال ولكن من حسن الحظ أن الفصول لم تكن قد بدأت العمل بعد ، كما تعرضت الطرق للالتواء والتعرج بينما انهارت المعابر الحديثة الإنشاء .

وكان تصميم المبانى قبل وقوع زلزال سان فيرناندو فى عام ١٩٧١ تم تنفيذه من خلال افتراض نسبة ١٠٪ كأقصى جاذبية محتملة بالنسبة لزلزال متوسط الشدة ، ولكن أجهزة تسجيل الزلازل فى وادى سان فيرناندو أوضحت أن بعض المبانى قد تعرضت لتسارع يساوى أو يفوق قوة الجاذبية ، لذا أصبح من الواضح أن تصميم البناء غير ملائم للظروف التى تتعرض لها هذه المبانى .

وقد وجد أنه عند وقوع أى زلزال حتى ذلك الزلزال المتوسط الشدة ،

(هبوط التربة وانهيار المبانى ـ زلزال سان فرانسيسكو ١٩٠٦)

فإن المبانى تتعرض لقوى أشد بما يوازى خمسة إلى عشرة أضعاف تلك القوى التى كان مسموحاً بها فى المواصفات الأصلية .

كما اتضحت أيضاً مشكلة من أنه كلما طال أحد الزلزال كانت المبانى المتعددة الطوابق أكثر ميلاً للتأرجح ؛ لذا فإن المبنى المصمم بحيث يواجه الزلزال قصير الأمد من الممكن أن ينهار ، ولحسن الحظ أن علماء الجيولوجيا قد تعرفوا على مواقع معظم الصدوع النشطة وبذلك يستطيع مهندسو البناء أن يتعرفوا على الاتجاه المحتمل للموجات الزلزالية وبالتالى يمكنهم وضع تصميمات البناء بحيث تتفق مع المحور الطولى الموازى لحركة الأرض المتوقعة أثناء الزلزال .

كذلك نوع التشييد يلعب دوراً كبيراً فى صمود البناء أمام الزلازل ، فمثلاً المبانى ذات الهياكل الصلب والتى تتمتع بالقوة مع شىء من المرونة والخفة فى الوزن قد تكون أكثر ميلاً للصمود أمام الزلزال ، كذلك أيضاً تلك المبانى ذات الهياكل الأسمنتية القليلة النوافذ والأبواب التى تضعف قوة البنيان ربما تصمد جيداً أمام الزلازل ، أما تلك المبانى المشيدة بالقوالب الأسمنتية المفرغة والغير مسلحة ، وكذلك المبانى الحجرية القديمة ، فإنها تكون أكثر عرضه للتأثر بأخطار الزلازل ، كما أن الأوزان الثقلة فوق أسطح المنازل تزيد من ثقل المبنى ، كما أن الشرفات تمثل خطورة عند سقوطها على المشاة أثناء الهزة الأرضية ، لذا يؤكد الخبراء على ضرورة البقاء داخل المنشآت أثناء الزلزال .

(الطرق العريضه فى مدينة سابورا باليابان)

ويتم تصميم بعض المبانى الحديثة الآن على أساس وجود فراغات فى صورة جراج للسيارات وهذه الفراغات تقف على مجموعة من الأعمدة الأسمنتية ، وهذا النوع من المبانى سرعان ما ينهار أمام الهزات الأرضية القوية .

وفى عام ١٩٧٩ تعاونت كل من اليابان والولايات المتحدة من وضع برنامج يهدف إلى تقييم صلاحية الهياكل المعمارية التى تم تصميمها لتناسب المناطق المعرضة للزلازل ، وقد أجريت فى معهد بحوث البناء فى تساكابا باليابان تجارب وبالمقياس الحقيقى وبنفس نمط مظاهر الزلزال الحقيقى من حيث الإزاحة الجانبية أو الاهتزاز .

أما الحركة الجانبية والتى عادة ما تزيد فى الأدوار العليا فقد تم تحقيقها فى هذه التجارب من خلال جذب نموذج مكون من سبعة أدوار بواسطة روافع هيدرولوجية فى محاطاة لقوى القصور الذاتى التى تتم أثناء زلزال مدته ١٥ ثانية ، وقد لوحظ أن أفدح الأضرار حدثت عندما وصلت درجة الميل إلى حوالى ٢٣ سم حيث تصدعت الحوائط ذات التحميل الكبير ، وقد أجريت عمليات ترميم ناجحة للأضرار الشديدة التى حدثت للمبنى عن طريق حقن التشققات بمواد مناسبة ، وعمل دعامات أو استبدال الأعمدة الصلب التالفة داخل الأسمنت ثم أعيدت التجربة مرة أخرى فاتضح أن عمليات الترميم التى أجريت قد أعادت للمبنى كامل صلابته .

هذا وتعتبر الإنشاءات المضادة للزلازل لاتزال فى حكم التقنية الجديدة إلى حد ما ولو أن هناك بعض الأسس المحددة والمعروفة ، منذ فترة ، وتتلخص هذه الأسس فى أن المبانى الخرسانية الغير مسلحة أو الجيرية تعتبر من أكثر الإنشاءات تعرضاً للخطر الزلزالى ، أما تلك المنازل ذات الدور الواحد أو الهيكل الخشب فتعتبر أقل الإنشاءات تعرضاً للخطر .

وهناك اتجاهان لتقييم المبانى متعددة الطوابق ذات الهيكل الصلب حيث يرى العديد من المهندسين فى أمريكا أن المبانى يجب أن تكون مرنة إلى أقصى حد ممكن .

أما الفريق اليابانى من المهندسين فيفضل المبانى الصلبة المتماسكة ويستندون فى رأيهم هذا إلى نتائج الزلزال المدمر الذى هاجم سندای باليابان عام ١٩٧٨ حيث ظلت المبانى الصلبة متماسكة وسليمة ، ويرى الفريق اليابانى أن ناطحات السحاب ذات الهياكل المرنة بالرغم من أنها قد تصمد أمام أحد الزلازل إلا أنها قد تعرضت أيضاً لبعض الأضرار مثل الالتواء وتتأثر قطع الأثاث والأشياء الأخرى المتحركة والتى اصطدمت بالحوائط والأفراد .

ولعل ذلك التصميم المعمارى الذى يقام فوق قاعدة ضخمة ماصة للصدمات يعتبر من أكثر التصميمات الهندسية أماناً أثناء الزلزال ، وهذا النوع من الإنشاءات لا يعتبر جديداً حيث قد تم تنفيذه بالفعل فى مراكز قيادة فرق المدفعية .

ويبدو أن اليابان أكثر قلقاً بالنسبة لهذه المشكلة حيث تنفق ما يقرب من ٣ بليون دولار سنوياً فى مجال الحماية من الزلازل بينما تخصص الولايات المتحدة حوالى ٧ مليون دولار فقط .

وأخيراً لابد لنا أن نعترف بأن الإنسان يعتبر أحد العوامل التى تلعب دوراً هاماً فى كارثة الزلازل بعد أن تبين لنا مدى مشاركة تلك المبانى التى تقع فوق رؤوس سكانها فى مسئولية نشر الموت والدمار جنباً إلى جنب مع الزلازل .

ـ تم بحمد الله ـ

المراجـــع العلميـــة

1 – Volcanoes and Earthquakes
by : Jon Ericksan.

2 – Volcanoes and Earthauakes
by : Terry Jennings.

3 – All about Volcanoes and Earthauakes
by : Fredrick H, Pough.