मौसम, **64**, 2 (अप्रैल 2013), 323-344

550.348.436

भुज (2001) और मुजफराबाद (2005) भूकम्पों के पूर्व तथा बाद के भूकम्पों का तुलनात्मक अध्ययन

एच. एन. श्रीवास्तव,* आर. के. सिंह, दल सिंह, राजेश प्रकाश एवं ए. के. शुक्ला

**128, पाकेट ए, सरिता विहार, नई दिल्ली–110076, भारत*

भारत मौसम विज्ञान विभाग, नई दिल्ली–110003, भारत

(प्राप्त 16 अगस्त 2011, संशोधित 9 जनवरी 2012)

e mail : dal.singh538@gmail.com

सार – भुज 2001 तथा मुजफराबाद 2005 के दोनों ही भूकम्प का मोमेन्ट परिमाण 7.6 था परंतु वे विभिन्न विवर्तनी क्षेत्रों अर्थात् अंतरा प्लेट और इंडियन यूरेशियन प्लेट की सीमा पर अर्थात् अंतरप्लेट क्षेत्रों में हुए। इस शोध पत्र में इसी दृष्टिकोण से उनका तुलनात्मक अध्ययन किया गया है। पुरा भूकम्पी तथा ऐतिहासिक रिकार्ड को सम्मिलित करके एक विस्तृत भूकम्प सूची कच्छ क्षेत्र के लिए तैयार करके भूकम्पनीयता का अध्ययन किया गया है। मुजफराबाद भूकम्प की भूकम्पनीयता की चर्चा भारत मौसम विज्ञान विभाग की सूची पर आधारित है। इन दोनों भूकम्पों के पूर्वकम्प तथा बाद के भूकम्पों के परिमाण, उनके क्षय काल एवं स्पेक्ट्रा के आधार पर दोनों भूकम्पों में अंतर पाया गया है। यद्यपि स्ट्रेस ड्राप में बाद के भूकम्पों का भूकम्प परिमाण से निश्चित संबंध नहीं पाया गया है, परंतु अधिकतर उनकी कार्नर आवृत्ति और परिमाण में विलोमी संबंध है। विभिन्न प्रकार की प्लेट सीमाओं और प्लेटों के अंदर बड़े भूकम्पों ($M \geq 7.6$) के स्ट्रेस ड्राप द्वारा उनमें अंतर स्पष्ट हो जाता है। मुख्य भूकम्प के पहले भूकम्पनीयता में रिक्त क्षेत्र मुजफराबाद भूकम्प से पहले देखा गया है जो हिमालय क्षेत्र के कई भूकम्पों से जैसे उत्तरकाशी 1991 और चमोली 1999 भूकम्पों से मिलता–जुलता है। भूकम्प पूर्वानुमान के दृष्टिकोण से वह अध्ययन जो उपग्रह द्वारा मापे गए तापमान की असंगति, आयनमंडल अथवा एलेक्ट्रोमैग्नेटिक एवं सोडार द्वारा निकाले गए, उनकी समीक्षा करने पर स्पष्ट होता है कि इस प्रकार के प्रेक्षण वायुमंडल के विभिन्न प्राचलों द्वारा अधिक प्रभावित होने के कारण उनका उपयोग संशयपूर्ण है। जी. पी. एस. के द्वारा अनुमानित विस्थापन क्षैतिज घटकों के वेग निकालने के लिए उपयोगी है, परन्तु उद्धार्वधर दिशा में उनके परिणाम भुज क्षेत्र में मानक रेडियो वायुमंडल के प्रयोग करने से प्रश्नसूचक हैं। इससे सही परिणाम निकालने के लिए भारतीय क्षेत्र के निकाले गए रेडियो वायुमंडल के प्रयोग से त्रुटियां कम हो सकती हैं। उत्केंद्र के निकट तीव्र गति त्वरण के अनुमान करने की युक्तियों की समीक्षा करने से स्पष्ट होता है कि उनमें अधिक अनुसंधान की आवश्यकता है।

ABSTRACT . Bhuj 2001 and Muzaffarabad 2005 earthquakes of same moment magnitude of Mw:7.6 occurred in different tectonic regions, i.e. intraplate and interplate regions of Indo-Eurasian plates respectively. Keeping this in view, their comparative study has been attempted in this paper. A detailed catalogue of earthquakes has been prepared to study seismicity of Kutchh region by including historical and paleoseismic data. Discussion on seismicity of Muzaffarabad earthquake is based on IMD catalogue of earthquakes. Difference has been found between Bhuj 2001) and Muzaffarabad (2005) earthquakes based on their foreshocks, magnitudes of aftershocks and their decay, b-value and their spectra. Though no relation between magnitudes of aftershocks and stress drop could be found but mostly the corner frequency and magnitude are inversely related. Difference in both these large earthquakes ($M \geq 7.6$) occurring in different tectonic plate set up is clearly evident from their stress drop. Seismic gap is noticed prior to main event of Muzaffarabad earthquake; which is similar to other Himalayan earthquakes of that region like Uttarkashi (1991) and Chamoli (1999). From the point of view of earthquake prediction, the results based on satellite thermal anomalies, ionosphere, electromagnetic and sodar observations reported for these earthquakes are considered to be of limited value due to the larger influence of atmospheric parameters Though approximate displacement measured through GPS is useful for calculating the plate motion but their results to derive large vertical displacement is questionable in case of Bhuj earthquake due to use of standard radio atmosphere. The errors in such results can be reduced by adopting radio atmosphere for the Indian region. Through a review of methodologies to predict the strong ground motion in the near field, it is evident that further research is called for.

Key words - विवर्तनी, अंतरा प्लेट, इंडियन यूरेशियन प्लेट, कार्नर आवृत्ति, एलेक्ट्रोमैग्नेटिक, उद्धार्वधर।

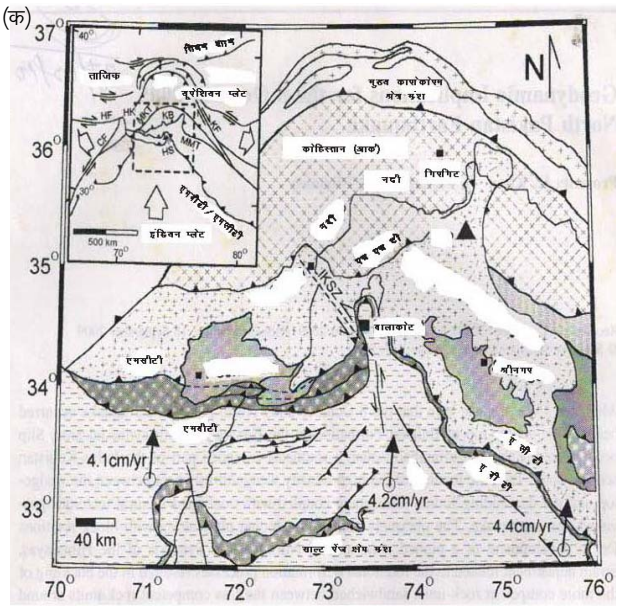
1. प्रस्तावना

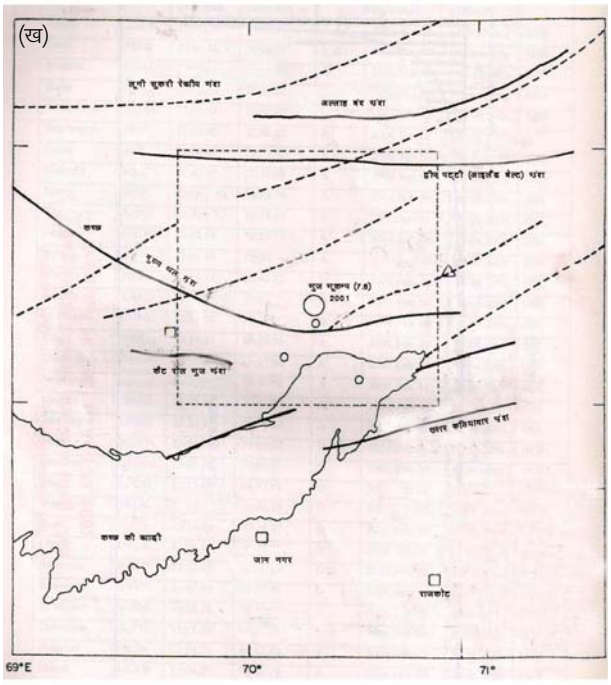
भारतीय यूरेशियन प्लेट की उत्तरी–पश्चिमी सीमा के निकट 8 अक्टूबर, 2005 में कश्मीर के क्षेत्र में 7.6 परिमाण का भूकम्प हुआ जिससे भारत एवं पाकिस्तान में 85000 से ज्यादा लोग हताहत हुए और करोड़ों रुपए की सम्पति नष्ट हुई। इससे पहले भारत में 26 जनवरी 2001 में कच्छ के क्षेत्र में उतना ही बड़ा (परिमाण 7.6) भूकम्प भारतीय प्लेट के अंदर लगभग 350 किलोमीटर उसके पश्चिमी सीमा से दूर हुआ। इस भूकम्प से लगभग 20,000 व्यक्तियों की मृत्यु हुई और करोड़ों रुपए की सम्पति का नुकसान हुआ। अब प्रश्न यह उठता है कि एक ही परिमाण के दोनों भूकम्पों के विभिन्न विवर्तनी क्षेत्रों में क्या अंतर है जिससे भविष्य में भूकम्प जोखिम का सही अनुमान लगाया जा सके। चूंकि भुज भूकम्प ऐसे क्षेत्र में हुआ जहां बहुत ही कम भूकम्पों की सूची प्राप्त है। अतः विभिन्न सूत्रों के आधार पर कच्छ क्षेत्र के लिए एक विस्तृत भूकम्प सूची तैयार की गई है। मुजफराबाद भूकम्पों की भूकम्प सूची भारत मौसम विज्ञान विभाग से प्राप्त की गई है। इनसे बड़े भूकम्पों के प्रत्यागमन काल और मुख्य भूकम्पों से पहले की भूकम्पनीयता का आंकन किया गया है। मुख्य भूकम्पों से हुए बाद के भूकम्पों की संख्या व परिमाण के आधार पर उनकी गुटेनबर्ग रिक्टर संबंध स्थिरांक से 'b' की तुलना तथा बाद के भूकम्पों (परिमाण 5.0 से और 5.5 से बड़े) की संख्या और ह्रास दर की विवेचना समान काल के आंकड़े लेकर की गई है।

इस शोध पत्र में दोनों भूकम्पों के पूर्व कम्प और बाद के भूकम्पों का तुलनात्मक अध्ययन विभिन्न दृष्टिकोण से जैसे स्पेक्ट्रा द्वारा किया गया है। इसके अतिरिक्त चूंकि आजकल भूकम्प परिमाण, घूर्ण परिमाण मापक्रम में मापा जाता है जो बड़े भूकम्पों के लिए अधिक उपयोगी है, बाद के भूकम्पों का क्षेत्रफल और घूर्ण परिमाण के बीच में भारतीय क्षेत्र के लिए नया समीकरण निकाला गया है। इन दोनों भूकम्पों के क्षेत्र में सह तथा बाद के भूकम्पी विस्थापन की भी चर्चा जी. पी. एस. के परिणामों द्वारा की गई है। इन दोनों भूकम्पों से उत्पन्न अनुमानित त्वरण की भी चर्चा की गई है जो भूकम्प जोखिम आकनें के लिए आवश्यक है। इन भूकम्पों के आधार पर पूर्वानुमान संबंधी सभी प्रकार के प्राचलों के आधार पर निकाले गए परिणामों की विवेचना की गई है।

2. विवर्तनी ढांचा

भारत तथा यूरेशिया प्लेटों के टकराने की प्रक्रिया से वर्तमान विवर्तनी सक्रीयता हिमालय में उत्पन्न होती है। भारतीय प्लेट उत्तर/उत्तर-पूर्व दिशा में लगभग 5.0 सेन्टीमीटर प्रति वर्ष के वेग से खिसक रही है। यूरेशियन प्लेट, और भारतीय प्लेट के वेगान्तर के कारण महाद्वीप आपस में टकराकर हिमालय पर्वत श्रृंखला बना रही हैं। इस प्रक्रिया में बहुत बड़े–बड़े पृष्ठीय खंड हिमालय से दूर उत्तरी–पूर्वी एशिया और कैस्पियन क्षेत्रों की ओर बढ़ते जाते हैं। हिमालय के पश्चिमी दिशा में अर्थात् भारत–पाकिस्तान सीमा पर 20 से 25 मिलीमीटर प्रति





चित्र 1. (क) उत्तर पश्चिमी हिमालय में मुजफराबाद भूकम्प के पास का विवर्तनी ढांचा (ख) कच्छ क्षेत्र का विवर्तनी ढांचा

वर्ष की रफ्तार से भारतीय प्लेट सिकुड़ रही है। इसके पश्चिमी सीमा में अति लम्ब सर्पण भ्रंश है जिसको चमन भ्रंश कहते हैं। उत्तर–पश्चिमी हिमालय में उपनति अलगावी परत (डिकोलमेंट सरफेस) के नीचे हजारा वृत्तखंड के सतही उपनति, जो दक्षिण–पश्चिमी दिशा में हैं, उनसे जुड़े हुए हैं। वास्तव में पूर्व–पश्चिम से उत्तरी, उत्तरी पूर्वी दक्षिणी, दक्षिणी पश्चिमी

दिशा में दो बड़े अक्षसंघीय झुकावों (सिन्टेक्शियल बेन्ड) है जिनको नंगा पर्वत अक्षसंघ उत्तरी–पूर्व दिशा में तथा हजारा बेशन अक्षसंघ पश्चिम में कहा जाता है। चित्र 1 (क) इन दोनों के विभिन्न प्रकार के उपनति अलगाव परत यह दर्शाते हैं कि अध स्तल भ्रंश में बड़े पैमाने पर विस्थापन हो रहा है। इस क्षेत्र के उत्तर–पूर्व में हिन्दुकुश क्षेत्र है जो बहुत ही सक्रिय है और उसमें 200 किलोमीटर तक नाभीय गहराई के भूकम्पों का कारण टेथिस महासागर के अवशेष हैं।

ओवेन फ्रैक्चर क्षेत्र तथा चमन भ्रंश जो भारतीय प्लेट की पश्चिमी भाग में स्थित है, उनसे 400 किलोमीटर दूर भुज 2001 का भूकम्प हुआ। कच्च क्षेत्र में जहां यह भूकम्प हुआ उसकी प्रमुख विवर्तनी विशिष्टताएं चित्र 1 (ख) में दिखलाई गई हैं। यहां पूर्व–पश्चिम दिशा में फैले वलन (फोल्ड) और भ्रंश हैं जिनमें मध्यजीवी (मेसोजोइक) जमाव और दक्षिणी पठार के वैसाल्ट, तृतीयक अवसादी क्षेत्र, संभवतः क्वाटरनेरी सतहें और विक्षेप और जलोढ़/अंतर ज्वारीय (इंटर टाइडेल) अवसाद हैं। इस क्षेत्र के प्रमुख भ्रंश हैं पूर्व–पश्चिम दिशा में फैला कैटरोल पहाड़ी भ्रंश, कच्च मुख्य स्थल भ्रंश, द्वीप वेल्ट भ्रंश, अल्लाह बंध भ्रंश और नगर पार्कर भ्रंश।

कच्च क्षेत्र के पश्चिम में इंडस नदी का डेल्टा है जो जलोढ़ (अलुवियल) के जमाव से बना हुआ है। सिंधु नदी जो हिमालय से निकलती है इसके अवसाद अरब की खाड़ी में तट के पास ही जमा होते हैं। सिंधु के डेल्टा में 5 किलोमीटर गहराई तक यह फैले हुए हैं। इनके भार से पृष्ठीय विरूपण के कारण विवर्तनी क्रिया पर प्रभाव पड़ता है। (बिस्वास, 1987)।

3. कच्छ क्षेत्र की भूकम्प सूची

कच्छ क्षेत्र की भूकम्पनीयता का अध्ययन करने के लिए एक सूची (कैटलॉग) निम्न सूत्रों के आधार पर तैयार की गई है।

(*i*) यू. एस. ज्योलोजिकल सर्वे भूकम्प सूची

(*ii*) इन्टरनेशनल सीस्मोलोजिकल सेंटर, यू. के.–भूकम्प सूची

(*iii*. भारत मौसम विज्ञान विभाग – भूकम्प सूची

(*iv*) ओल्ढ़म सूची, (1883)

(*v*) राव और श्रीवास्तव, (1997) – गुजरात क्षेत्र के भूकम्पों की सूची

(*vi*) भारतीय पठार के ऐतिहासिक भूकंपों की सूची – श्रीवास्तव और रामचन्द्रन (1985)

(*vii*) भारत में महसूस किए गए भूकम्पों की सूची – रामचन्द्रन और श्रीवास्तव (मौसम, 1991)

(*viii*) ऐतिहासिक भूकम्प (मध्यपूर्व काल) आंयगर व उनके सहयोगी (1999)

(*ix*) अर्थक्वेक अकरनेंस इन इंडिया – टंडन और श्रीवास्तव (1974)

(*x*) अर्थक्वेक इन इंडिया व नेबरहुड (1979 तक) – बापट व अन्य सहयोगी (1983)

(*xi*) अंतराष्ट्रीय भूकम्प गोष्ठी, गांधीनगर, गुजरात – (22–24 जनवरी 2011), (ऐब्सट्रेक्ट्स)

(*xii*) अर्थक्वेक रिकरेंस इन भुज– राजेन्द्रन और राजेन्द्रन (2003)

इस भूकम्प सूची (तालिका 1) से स्पष्ट होता है कि कच्छ क्षेत्र में पिछले चार हजार वर्षों से भूकम्प आते रहे हैं। परंतु कम तीव्रता के भूकम्पों का अनुमान लगाना इसलिए दुष्कर है कि उस समय भूकम्प लेखी नहीं थे और भूकम्प के झटके वहां पर ही रिकार्ड होते थे जहां आबादी थी। इस क्षेत्र में सबसे बड़ा भूकम्प 1819 में हुआ जिसका परिमाण 8.4 था परंतु मोमेन्ट परिमाण में 7.8 आंका गया जो लगभग भुज भूकम्प (2001) के बराबर था। इससे पहले 1956 में अंजर क्षेत्र में 1956 में 6.1 परिमाण का भूकम्प हुआ। इसका उत्केंद्र कच्छ मुख्य स्थल भ्रंश पर था और जान–माल का काफी नुकसान हुआ।

4. मुजफराबाद तथा भुज भूकम्पों से क्षति का संक्षिप्त विवरण

भुज भूकम्प से लगभग 20,000 व्यक्तियों के हताहत होने के अतिरिक्त मकानों में भीषण क्षति, यातायात के सभी साधनों में क्षति, दूरसंचार व्यवस्था ठप तथा 50,000 वर्ग किलोमीटर क्षेत्रफल में भूमि में द्रवीकरण पाया गया। सबसे अधिक भूकम्प तीव्रता मेंडवेडेव–स्पान्युर–कार्निक (एम. एस. के.) मापक्रम में X पाई गई, जिसका क्षेत्रफल 780 वर्ग किलोमीटर था। तीव्रतम भूकम्पी क्षेत्र में सबसे प्रभावित गांव बछाऊ, शिकारा, बुधा रमोड़ा, अमार्डी, मैस्फेरा, छोबारी, टार्निया, अधोई, खारोई, कुजिसार, घमड़ा, चिराई और छदुवाला सम्मिलित है। भूकम्प समकम्प तीव्रता IX और VIII की दीर्घवृत्ताकार की लम्बी कक्ष की दिशा उ. 60° पू.–द. 60° प. की दिशा में थी। द्रवीकरण के संकेत बालू, क्रेटर, भू–फटन–धंसना पार्श्विक फैलाव अवसर्पण (स्लम्प) और डाइक्स द्वारा प्राप्त हुए जिनका क्षेत्रफल 50,000 वर्ग किलोमीटर आंका गया।

तालिका 1

कच्छ और उसके आसपास के भूकंपों की सूची

तारीख	उत्केंद्र, तीव्रता, परिमाण	स्रोत
2948 ± 295 ईसा से पूर्व	ढालना (250 कि. मी. भुज भूकम्प 2001 से दूर)	राजेन्द्रन और राजेन्द्रन, 2003
2900 ईसा से पूर्व	कच्छ	भिस्त 2011
2700 ईसा से पूर्व	ढोलाविरा, कच्छ (60 कि.मी., भुज भूकम्प, 2001 से दूर)	
2100–2000 ईसा से पूर्व	हड़प्पा संस्कृति से पूर्व	मलिक तथा उनके सहयोगी 2011
893 ए डी	कच्छ (1819 भूकम्प के पास)	राजेन्द्रन और राजेन्द्रन, 2003
2000	बेट द्वारिका	राजेन्द्रन और राजेन्द्रन, 2003
≈1700	कच्छ	राजेन्द्रन और राजेन्द्रन, 2003
5 फरवरी 1668	समाजी, 7.6	मलिक
16 जून 1819 23.60° उ. 69.60° पू	कच्छ XI (7.8)	ओल्डम (1883)
27 जनवरी 1820 23.20° उ. 69.90° पू	कच्छ (बाद का भूकम्प) V	ओल्डम (1883)
13 अगस्त 1821 23.16° उ. 70.16° पू	कच्छ (बाद का भूकम्प) 5.0	मलिक
20 जूलाई 1828 23.20° उ. 69.90° पू	कच्छ VI (4.3)	ओल्डम (1883)
19 अप्रैल 1845 23.80° उ. 69.90° पू	लुकपथ VIII	ओल्डम (1883)
25 अप्रैल 1845 23.00° उ. 69.90° पू	लुकपथ .	ओल्डम (1883)
19 जून 1845 23.80° उ. 69.90° पू	लुकपथ	ओल्डम (1883)
29 अप्रैल 1864 24.60° उ. 70.00° पू	कच्छ 5.0	मलिक
26 जून 1882	कच्छ III	एच.एन.श्रीवास्तव. व के.राम चन्द्रन (1985)
14 जनवरी 1903 24.00° उ., 70.00° पू	कच्छ 6.0	मलिक
28 अप्रैल 1904 23.16° उ., 69.66° पू	कच्छ 4.0	मलिक
26 अक्तूबर 1921 25.00° उ., 68.00° पू	कच्छ 5.5	मलिक
31 अक्तूबर 1940 22.05°, उ., 70.40° पू	VI	उमेश चंद्र
31 अक्तूबर 1940 24.50° उ., 70.30° पू	कच्छ 5.6	भारत मौसम विज्ञान विभाग
14 जून 1950 24.50° उ., 69.00° पू.	कच्छ	भारत मौसम विज्ञान विभाग
21 जुलाई 1956 23.00° उ., 70.00° पू.	कच्छ IX 6.1	भारत मौसम विज्ञान विभाग
13 जुलाई1963 24.50° उ., 71.00° पू.	कच्छ 5.6	भारत मौसम विज्ञान विभाग
26 मार्च 1965 24.50° उ., 71.00° पू.	कच्छ 5.5	आई एस सी
27 मई 1966 24.08° उ., 69.32° पू.	कच्छ 5.5	आई एस सी
23 मार्च 1969 24.54° उ., 68.79° पू	कच्छ –	आई एस सी
03 मार्च 1976 24.97° उ., 70.008° पू.	कच्छ 4.1	भारत मौसम विज्ञान विभाग
02 अप्रैल 1981 24.21° उ., 69.85° पू.	कच्छ 5.2	भारत मौसम विज्ञान विभाग
31 जनवरी 1982 24.36° उ., 70.40° पू.	कच्छ 4.8	मलिक
18 जुलाई 1982 23.40° उ, 70.66° पू.	कच्छ 4.2, 4.8	आई एस सी
07 अप्रैल 1985 24.61° उ, 70.23° पू.	कच्छ 4.4	मलिक
20 जनवरी 1991 23.08° उ, 69.50° पू.	कच्छ 35	आई एस सी
10 सितंबर 1991 24.28° उ, 69.13° पू.	कच्छ 4.7	मलिक
24 अगस्त 1993 20.70° उ, 71.44° पू.	कच्छ 4.7, 4.9	आई एस आई
17 फरवरी 1996 23.33° उ, 69.66° पू.	कच्छ 4.5	मलिक
24 दिसंबर 2000 23.92° उ, 69.79° पू.	कच्छ 4.2	यू एस जी एस
26 जनवरी 2001 23.40° उ, 70.28° पू.	कच्छ X, 7.7	भारत मौसम विज्ञान विभाग
	7.6	हारर्वड

नोट : भुज (2001) के बाद के भूकम्पों की संख्या अधिक होने के कारण सूची में सम्मिलित नहीं किया गया है।

तालिका 2

भुज (2001) तथा मुजफराबाद (2005) भूकम्पों तथा उनके सबसे बड़े बाद के भूकम्प के उत्केंद्र

तारीख	स्थान	उदगम समय (जीएमटी)	उत्केंद्र	नाभीकीय	गहराई	भूकम्प परिमाण	
26 जनवरी 2001	गुजरात	03घं. 16मि. 40.26से.	23.44° उ.	25कि.मी.	(आईएमडी)	M_B 6.9 (एनईआईसी)	
			70.31° पू.	16 कि.मी.	(एनईआईसी)	M_S 8.0 (एनईआईसी)	M_W 7.6 (एनईआईसी)
				19.8 कि.मी. (हार्वड)		7.9 (एनईआईसी)	M_W 7.6 (हार्वड
28 जनवरी 2001	सबसे बड़ा बाद का भूकम्प	01घ. 02मि. 10.70से.	23.51°उ.	10 कि.मी.		5.9	
8 अक्तूबर 2005	मुजफराबाद, पाकिस्तान	03घ. 50मि. 40.80से.	34.54°उ.	26 कि.मी.	(हावर्ड)		M_B 6.7
			73.65°उ.पू.				M_S 7.6 (आईएससी), 7.7 (एनईआईसी)
							M_W 7.6 (हार्वड)
		03घ. 50मि. 35.99से.	34.52°उ.	73.640 कि.मी.	16 ±2 (हावर्ड)		
8 अक्तूबर 2005	सबसे बड़ा बाद का भूकंप	10घ. 46मि. 23.79से.	34.73° उ.	8 कि.मी.		M_S 6.4	
			73.10°पू				

नोट : मुख्य भूकम्पों के प्राचल इन्टरनेशनल सीस्मोलोजिकल सेंटर, यू.के. से किए गए हैं। अन्य भारत मौसम विज्ञान विभाग की सूची पर आधारित है।

एक महत्वपूर्ण समकम्प तीव्रता VIII का क्षेत्र उत्केंद्र से लगभग 250 किलोमीटर दूर अहमदाबाद में पाया गया जहां गगनमुखी इमारतों को विशेष हानि हुई। यह द्वितीयक तीव्रतम भूकम्प क्षेत्र मैक्सिको 1985, कांगड़ा 1905, बिहार, नेपाल 1934, उत्तरकाशी 1991, चमोली 1999 और बिहार नेपाल 1988 भूकम्पों के समान ही था। इससे भी दूर सूरत के आसपास भी स्थानीय तीव्रता बढ़ गई जिससे कुछ गगनचुंबी इमारतों में क्षति हुई। इस प्रकार के द्वितीयक तीव्रतम क्षेत्र के कारणों का अध्ययन श्रीवास्तव और उनके सहयोगी (2010) ने किया है।

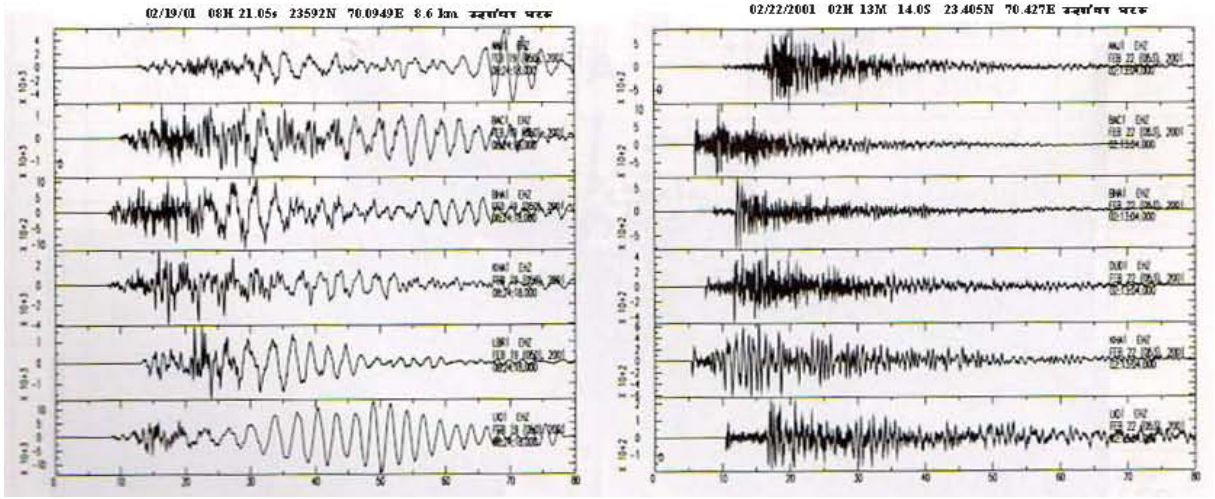
भारतीय भू–विज्ञान विभाग के द्वारा समकम्प तीव्रता का मानचित्र भुज भूकम्प 2001 के बाद क्षेत्रीय निरीक्षण के आधार पर बनाया गया। तीव्रता भ्रंशतल के ऊपरी भित्ति (हैंगिग वाल) पर, भूकम्प श्रोत के पूर्व में तथा अवसाद के स्थानों पर अधिक थी। इस भूकम्प की तीव्रता उदगम से दूर जाने पर पश्चिम की अपेक्षा पूर्व की ओर जल्दी–जल्दी घटती है।

मुजफराबाद भूकम्प 2005 द्वारा लगभग 85,000 व्यक्ति हताहत, 50000 लोग जख्मी और लाखों लोग बेघर हो गए। इस भूकम्प से उत्तर पश्चिम–दक्षिण पश्चिम दिशा में हजारा काश्मीर अंक्षसंधीय क्षेत्र के पास लगभग 75 किलोमीटर लम्बा भू–फटन पाया गया। इसका उत्केंद्र मुजफ्राबाद से 19 कि.मी. उत्तरी पूर्वी दिशा में था। इसकी दूरी श्रीनगर से 175 किलोमीटर पश्चिमी उत्तर–पश्चिमी दिशा में थी। सबसे बड़ा भूस्खलन मुजफराबाद से लगभग 25 कि.मी. दूर हालटियन नामक स्थान पर हुआ। सबसे अधिक भूकम्पीय तीव्रता X से XI आंकी गई। इस भूकम्प से द्रवीकरण जम्मू तक पाया गया।

भुज 2001 तथा मुजफराबाद 2005 भूकम्पों के उत्केंद्र, परिमाण तथा नाभीय गहराई तालिका 2 में दिए गए है। यद्यपि मोमेंट परिमाण दोनों भूकम्पों के समान थे, परंतु अन्य मापक्रमों तथा नाभीय गहराई में अंतर की विस्तृत चर्चा प्रस्तुत करना आवश्यक है।

(*i*) *भुज 2001 तथा मुजफराबाद भूकम्पों के परिमाण*

भुज भूकम्प के परिमाण एम एल (M_L), एम बी (M_B), एम एस (M_S) तथा एम डब्ल्यू (M_W) मापक्रमों में निकाले गए। दिल्ली तथा अन्य वेधशालाओं के भूकम्पलेखियों द्वारा रिक्टर पैमाने में भूकम्प का परिमाण 6.9 निकला जो मोमेन्ट परिमाण (7.6 हारवर्ड) तथा पृष्ठीय परिमाण (एन. ई. आई. सी. 8.0) में लगभग एक यूनिट कम था। इसकी समीक्षा सरदार सरोवर जलाशय के आसपास की वेधशालाओं द्वारा की गई जहां पर वुडएन्डरसन भूकम्प लेखी लगे हुए थे। उनसे भी रिक्टर पैमाने में भूकम्प परिमाण 7.2 निकाला गया (सरदार सरोवर जलाशय



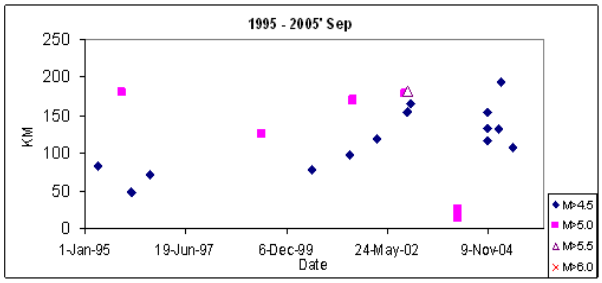
चित्र 2. उथले तथा गहरे बाद के भूकम्पों के सीस्मोग्राम

प्रोजेक्ट की भुज भूकम्प पर रिपोर्ट, 2002)। अब प्रश्न यह उठता है कि पिंड तरंगों द्वारा निकाले गए परिमाण कम क्यों थे? इसका मुख्य कारण हो सकता है कि इस क्षेत्र का Q काफी कम था जिससे P तरंगों के आयाम घट गए। इसकी विस्तृत चर्चा आगे की जाएगी। इसके विपरीत ड्रेकोपुलस एवं श्रीवास्तव (1972) ने हिन्दुकुश क्षेत्र के अधिक गहरे भूकम्पों (≈160 कि.मी.) में पाया कि तरंग पिंड परिमाण, पृष्ठीय परिमाण से अधिक होता है जिसका कारण पृष्ठीय तरंगों का कम विकसित होना है। इसकी तुलना में मुजफराबाद भूकम्प जिसकी नाभिकीय गहराई भुज भूकम्प की अपेक्षा कम थी, उसमें सभी प्रकार की तरंगों के उत्सर्जन से निकाले परिमाण भी एन. ई. आई. सी. द्वारा M_B 6.9 और M_S 7.7 निकाले गए। हावर्ड द्वारा इसका भी मोमेंट परिमाण 7.6 था। यह बात ध्यान देने की है कि भुज भूकम्प तथा मुजफराबाद भूकम्प में पिंड तरंगों द्वारा निकाले गए परिमाण (≈7) की तुलना में गुजरात व कश्मीर क्षेत्रों में कहीं अधिक क्षति हुई थी। भुज तथा मुजफराबाद भूकंप क्रमशः 1500 कि. मी. और 1200 कि. मी. दूर तक महसूस किए गए। इसके अनुसार भुज भूकंप का परिमाण बड़ा होना चाहिए। परन्तु पठार क्षेत्र की यह विशेषता है कि लगभग सभी भूकंपों के झटके उसकी परतों से भूकंपीय तरंगों की ऊर्जा में कम ह्रास होने के कारण अधिक दूरी तक महसूस होते है अतः इस प्राचल के अनुसार क्षति का अनुमान कभी कभी दुष्कर हो जाता है।

अतः मोमेंट परिमाण मापक्रम अधिक विश्वसनीय है। इसी कारण मोमेन्ट परिमाण अथवा पृष्ठीय तरंग परिमाण (यदि पृष्ठीय तरंगें भूकम्पलेखी में संतृप्त न हो जाएं) के आधार पर ही भूकम्पीय ऊर्जा तथा क्षति का सही अनुमान हो सकता है। इसी को ध्यान में रखकर मोमेन्ट परिमाण एवं बाद के भूकम्पों के क्षेत्रफल का एक नया संबंध भारतीय क्षेत्र के लिए निकाला गया है जिसकी चर्चा आगे की जाएगी।

(*ii*) *भुज 2001 तथा मुजफराबाद 2005 भूकम्पों की नाभीय गहराई*

चित्र 2 में उथले और गहराई के बाद के भूकम्प का सीस्मोग्राम, पास के स्टेशन पर दिखलाया गया है। भुज तथा मुजफराबाद भूकम्पों की नाभीय गहराई क्रमशः 25 तथा 15 किलोमीटर थी जिनको विभिन्न सूत्रों की गणना के आधार पर ± 2 से ± 3 किलोमीटर त्रुटि में लिया जा सकता है। भारत मौसम विज्ञान विभाग ने विस्तृत बैंड भूकम्प लेखियों में रिकार्ड किए गए गहराई फेज़ एस. पी. एन. (sPn) द्वारा भुज भूकम्प की गहराई कई वेधशालाओं के आंकड़ों के आधार पर अधिक सही निकाली। विभिन्न अध्ययनों के अनुसार अंतरा प्लेट में बड़े भूकम्प निचले पृष्ठ का विषमांगी (हेटेरोजेनस) होना है। यदि हम पठार क्षेत्र के अन्य भूकम्पों की नाभीय गहराई से तुलना करें तो हम देखते हैं कि जबलपुर भूकम्प 1997 की नाभीय गहराई इससे भी अधिक 35 किलोमीटर थी जो निश्चित ही बैसाल्ट परत में था। इसके विपरीत लातूर 1993 और कोयना भूकम्प (1967) की नाभीय गहराई केवल लगभग 7 किलोमीटर थी। इसके विपरीत मुजफराबाद भूकम्प की तुलना हिमालय के अन्य भूकम्पों से करने पर स्पष्ट होता है कि हिमालय के मुख्य केंद्रीय भ्रंश और मुख्य सीमा भ्रंश पर भूकम्पों की गहराई 15 से 25 किलोमीटर गहराई थी जैसे उत्तरकाशी 1991 और चमोली 1999, भूकम्पों में पाया गया। परंतु अगस्त 1988 के भूकम्प में नाभीय गहराई 57 किलोमीटर थी, जो हिमालय के भ्रंशों के दक्षिण में हुआ। इसी प्रकार मुरादाबाद 1966 भूकम्प की गहराई भी कुछ अधिक (यू. एस. जी. एस. 35 कि. मी.) रिपोर्ट की गई थी परंतु टंडन (1975) ने इसको 22 कि.मी. निकाला। मोल्नर (1987) ने सुझाव दिया कि इस भूकम्प की उदगम क्रिया सामान्य फटन दिखलाता है जिससे निष्कर्ष निकाला गया कि भारतीय प्लेट यहां से टूट जाती है। यदि हम इसके पास के बुलंदशहर 1956 भूकम्प की उदगम क्रिया से तुलना करें तो



चित्र 3. मुजफराबाद 2005 भूकम्प से पहले भूकम्पनीयता में परिवर्तन

यह क्षेप भ्रंश दिखलाता है। टंडन (1975) ने इसको अरावली की पहाड़ियों में भ्रंश के साथ पाया। हम देखते हैं कि 1988 के भूकम्प की उदगम क्रिया भी क्षेप भ्रंश के कारण मोल्नर द्वारा निकाले गए परिमाण निराधार है। हिन्दुकुश क्षेत्र को छोड़ कर हिमालय के अन्य भागों में अधिकतर स्थानों में हिन्द व यूरेशिया प्लेट के टकराने वाले क्षेत्र में कम गहराई वाले भूकम्प पाए जाते हैं जिनको अलगावी सतह (डिटैचमेंट सतह) से संबंधित किया जाता है। परंतु अधिक नाभीय गहराई के भूकम्पों के कारणों का पता भूकम्पीय टोमोग्राफी द्वारा लग पाएगा।

(*iii*) *भुज 2001 तथा मुजफराबाद 2005 भूकम्पों की उद्गम क्रिया*

मुजफराबाद भूकम्प 2005 इंडिया–यूरेशिया प्लेट के पश्चिमी टकराव क्षेत्र के पास एक क्षेप भ्रंश पर हुआ। इसका संभावित नोडल प्लेन 330° पर था जिसकी नति 39° और अवनमन 121° थी। अर्थात् इसकी क्षेप हलचल उत्तरी पूर्वी दिशा में झुके हुए भ्रंश से संबंधित है। इस भूकम्प से पहले 14 फरवरी 2004 में 25 से 30 किलोमीटर गहराई में 5.5 परिमाण का एक भूकम्प हुआ। इसकी भ्रंश तल क्रिया की तुलना करने से स्पष्ट होता है कि प्रतिबल तथा तनाव अक्ष लगभग 90 डिग्री मख्य भूकम्प में घूम गए जो भूकम्प पूर्वानुमान की दृष्टि से एक महत्वपूर्ण परिमाण है।

भुज भूकम्प, 2001 की 17 देशीय तथा 15 अंतर्राष्ट्रीय वेधशालाओं के आधार पर भारत मौसम विज्ञान विभाग ने उद्गम क्रिया से भी क्षेप भ्रंश कच्छ क्षेत्र में पाया है।

नोडल प्लेन	*अनुदैर्ध्य दिशा*	*नति*	*फिसलन*
I	292°	45°	132°
II	60	58	56

बाद के भूकम्पों के उत्केंद्रों के आधार पर नोडल प्लेन II जो दक्षिण–पश्चिम दिशा में 45° के करीब झुका है, वही भ्रंश इस भूकम्प का कारण है जिसे कच्छ मुख्य थल भ्रंश कहते है। भुज क्षेत्र के 1956 के अंजर भूकम्प (परिमाण 6.1) की उद्गम क्रिया भी क्षेप भ्रंश थी जिसके नोडल प्लेन उत्तरी–पूर्वी दिशा में थे जो कच्छ रिफ्ट बेसिन के तथा समकम्प रेखाओं के लम्बे अक्ष के समानांतर है।

5. मुजफराबाद भूकम्प 2005 और भुज भूकम्प 2001 के पूर्वकम्प

भुज भूकम्प 2001 का केवल एक ही पूर्वकम्प 24 दिसम्बर 2000 में मुख्य भूकम्प के उत्केंद्र से लगभग 30 किलोमीटर दूर उत्तर पूर्वी दिशा में रिकार्ड किया गया। इसकी नाभीय गहराई ग्रेनाइट परत के लगभग बीच में थी परंतु मुख्य भूकम्प लगभग इस परत के निचले भाग में 25 किलोमीटर गहराई में हुआ। इसके विपरीत मुजफराबाद भूकम्प में दो पूर्वकम्प 5 परिमाण से अधिक रिकार्ड किए गए जिनकी नाभीय गहराई भी कम थी।

ओहनाका (1992) ने एक भौतिक मॉडल पूर्वकम्पों के लिए विकसित किया जो भूकम्प के पूर्वानुमान में सहायक हो सकता है। इसके अनुसार जब भी मुख्य भूकम्प भंगुर भूकम्पजनित परत में होता है, तब पूर्वकम्प उथली गहराई में न्यूक्लीयेट होते हैं। स्थानीय व छोटी असमघाती होने के कारण यह पूर्वकम्प फटन के बढ़ने में रुकावट उत्पन्न करते हैं। जैसे–जैसे न्यूक्लियेशन बढ़ता है, वह क्षेत्र में सर्पण क्षमता कम होने लगती है। स्थानीय गतीय अस्थिरता वहां नहीं रह पाती है जब प्रतिबल, अवशिष्ट घर्षण प्रतिबल की सीमा पर घट जाता है। इस दशा में पूर्वकम्प समाप्त हो जाते हैं और भूकम्पीय शांति स्थापित हो जाती है। यह मॉडल अंतर प्लेट व अंतरा प्लेट क्षेत्रों के अनुकूल पाया गया है। इस मॉडल को कोयना भूकम्पों की नाभीय गहराई में पूर्वकम्प द्वारा न्यूक्लिएशन और उसके बाद के हुए भूकम्पों पर आंका गया है (गुप्ता व उनके सहयोगी, 2005)। परंतु यह सभी भूकम्पों में नहीं देखा जा सका। अतः भूकम्प पूर्वानुमान में इस माडेल का प्रयोग प्रश्नसूचक है। दक्षिणी पठार क्षेत्र में भूकम्प के झुंड आने पर और भी अधिक समस्या उत्पन्न होती है। उनकी उथली गहराई के कारण यह नहीं कहा जा सकता कि वे कुछ समय बाद ही समाप्त हो जाएंगे अथवा एक बड़ा भूकम्प आएगा यदि न्यूक्लिएशन 2–2.5 किलोमीटर गहराई में हो। परंतु यदि इस प्रकार के भूकम्प समूह अधिक गहराई में होते हैं तब न्यूक्लिएशन बढ़कर 5 से 7 किलोमीटर से भी नीचे पहुंच कर मुख्य भूकम्प का जनन ओहनाका के मॉडल के अनुसार हो सकता है। इन दोनों प्रकार के भूकम्प झुन्ड या समूह का अंतर भारतीय पठार में श्रीवास्तव और दुबे (1996) ने निकाला था।

यदि हम दक्षिणी पठार के भूकम्पों के पूर्वकम्पों का अध्ययन करें तो हम देखते हें कि जबलपुर क्षेत्र में एक पूर्वकम्प 3.8 परिमाण का 31 अक्टूबर 1993 में लगभग चार वर्ष पूर्व हुआ। लाटूर क्षेत्र में लगभग एक वर्ष पूर्व (1992) में तीन भूकम्प 4.5, 3.8 व 4.0 परिमाण के रिकार्ड किए गए। भद्राचलम भूकम्प (1969) में केवल एक पूर्वकम्प रिकार्ड किया गया। इसके विपरीत कोयना (1967) व भत्सा (1983) क्षेत्रों में पूर्वकम्पों की संख्या मुख्य भूकम्प के आने तक बढ़ती ही गई। परंतु इन दोनों स्थानों पर भ्रंशों के अतिरिक्त जलाशय का भी

कुछ योगदान माना जाता है। हिमालय के क्षेत्र के भूकम्पों से पहले अधिक संख्या में पूर्वकम्प रिकार्ड किए गए (श्रीवास्तव, 2004)।

उत्तरकाशी भूकम्प (1991) से पहले कुछ पूर्वकम्प रिकार्ड किए गए जो 15 अक्टूबर 1991 तथा 17 अक्टूबर 1991 में हुए। उनका परिमाण 4.6 तथा 2.7 था। चमोली भूकम्प (1997) से लगभग तीन वर्ष पहले 1996 में 21 तथा 26 मार्च में 4.5 तथा 5.0 परिमाण के दो भूकम्प रिकार्ड किए। इन भूकम्पों के पूर्वकम्प के उत्केंद्रों से यह भी स्पष्ट होता है कि अधिकतर पूर्व कम्प 20 से 30 किलोमीटर के अंदर ही रिकार्ड होते हैं।

डाइलेटेंसी मॉडल के अनुसार भूकम्पनीयता में परिवर्तन भारतीय क्षेत्र में पाए गए हैं (श्रीवास्तव और उनके सहयोगी, 2007)। वह स्थान भूकम्प रिक्त होकर प्रतिबल तनाव एकत्रित होने के बाद बड़ा भूकम्प उत्पन्न करता है। इस प्रकार की भूकम्पनीयता का नमूना बाद के भूकम्पों में भी पाया जाता है जैसा श्रीवास्तव व उनके सहयोगियों (1987) ने भत्सा भूकम्प के बाद के भूकम्प (1984) से पहले देखा। अग्रवाल और उनके सहयोगियों (2011) ने भुज क्षेत्र के बाद के भूकम्पों के आधार पर 2007–2009 में 8 बाद के भूकम्प, 3.8 से 4.5 के परिमाण के रिकार्ड किए जिनमें 4 से लेकर 70 पूर्वकम्प पाए। इनके पूर्वकम्प के झुन्ड 4 से 25 किलोमीटर, 7 से 25 दिन पहले देखे गए। भूकम्प रिक्त काल 1 से 6 दिन 6 भूकम्पों में मापा गया। इससे यह निष्कर्ष निकला कि यदि 15 से 30 किलोमीटर की गहराई में भूकम्प के झुन्ड हों और उनमें 2 से 7 भूकम्प 3 परिमाण के हों, तब 4 से 5 परिमाण का भूकम्प हो सकता है। परंतु कई अन्य उदाहरणों में यह पूर्वकम्प के झुंड के बाद ही 4 या उससे अधिक परिमाण के भूकम्प नहीं पाए गए।

हिमालय के क्षेत्र में कई भूकम्पों में जैसे कांगड़ा 1974, 1978 उत्तराखंड–नेपाल 1966, 1980, उत्तरकाशी 1991, चमोली 1999, बिहार–नेपाल 1988, मणिपुर–बर्मा 1988 से पहले भूकम्पीयता में परिवर्तन पाए गए हैं, जो डाइलेटेंसी माडेल के अनुसार है (श्रीवास्तव, 2004)। इस माडेल में पहले तो भूकम्पों की संख्या बढ़ती है और उसके बाद भूकम्प होना बंद हो जाते हैं। फिर अधिकतर पूर्व कम्प होने के बाद ही मुख्य भूकम्प आ जाता है। कभी–कभी पूर्वकम्प नहीं भी होते हैं यदि भूकम्प की नाभीय क्षेत्र श्यान प्रत्यास्थ क्षेत्र में हो जैसा ओहनाका माडेल (1992) से भी निष्कर्ष निकलता है।

1995 से 1 सितम्बर 2005 तक भूकम्पनीयता में परिवर्तन मुजफराबाद भूकम्प 2005 से पहले चित्र 3 में दिखलाए गए हैं। (आर. के. सिंह एव. उनके सहयोगी 2008) 2005 भूकम्प से पहले भूकम्पों की संख्या अधिक पाई गई परंतु उसके बाद वह क्षेत्र भूकम्प रिक्त हो गया। उसके बाद दो पूर्वकम्प जिनका परिमाण पांच से अधिक था, रिकार्ड किए गए। इसके अतिरिक्त नवम्बर 2004 से सितम्बर 2005 तक मुख्य भूकम्प से पहले भूकम्पों की संख्या फिर से कम हो गई जो डाइलेटेन्सी मॉडल के अनुसार है। इस मॉडल के अनुसार भूकम्प के झुंड, भूकम्प रिक्त, भूकम्पों की संख्या में बढ़ोत्तरी, पूर्वकम्प, मुख्य भूकम्प और बाद के झटके एक निश्चित क्रम में होते हैं।

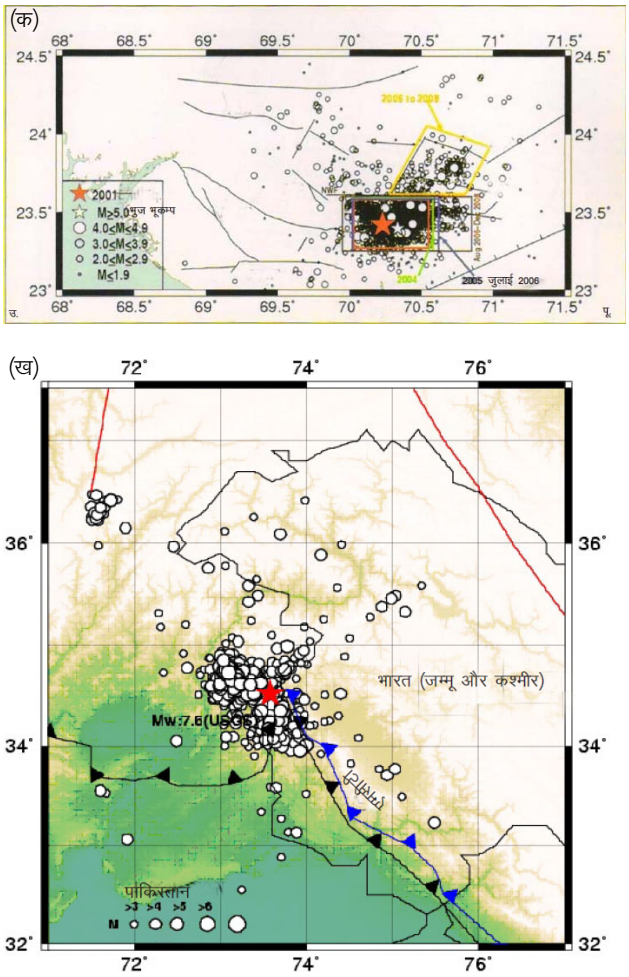
यदि इस भूकम्प श्रृंखला की तुलना, चमोली 1997 व उत्तरकाशी 1991 के भूकम्पों से की जाए तो हम देखते हैं कि मुख्य भूकम्प से पहले ही भूकम्प रिक्त क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है। ध्यान से देखा जाए तो 2005 की भूकम्प श्रृंखला में भी एक के बजाए दो बार भूकम्प रिक्त क्षेत्र उत्पन्न हुए जो इस बात का संकेत करते हैं कि कानामोरी भूकम्पीय मॉडल (1981) में हिमालय के क्षेत्र में परिवर्तन की आवश्यकता है क्योंकि दो बार रिक्त क्षेत्र का उत्पन्न होना वहां की विवर्तनी जटिलता दर्शाता है (प्रकाश व उनके सहयोगी, 2004)।

इस प्रकार का अध्ययन भूकम्पों की संख्या बहुत ही कम होने के कारण भुज भूकम्प के लिए नहीं किया जा सका परंतु 55 वर्ष पूर्व 1956 के अंजर भूकम्प (परिमाण 6.1) से इसी क्षेत्र में काफी क्षति हुई और उसका उत्केंद्र भी इसी भ्रंश पर था। उसके बाद कम तीव्रता के भूकम्प ही रिकार्ड किए गए। अब 45 वेधशालाओं के नेटवर्क स्थापित होने से संपूर्ण गुजरात में काफी कम परिमाण के भूकम्पों का पता लग पाता है।

6. बाद के भूकम्पों की विशिष्टता

चित्र 4 (क) तथा (ख) में भुज तथा मुजफराबाद भूकम्पों के बाद के भूकम्पों के उत्केंद्र दिखलाए गए हैं। मुजफराबाद भूकम्प (2005) के बाद के भूकम्प 10 से 22 किलोमीटर गहराई में थे। मुख्य भूकम्प की तरह अधिकतर बाद के भूकम्पों में क्षेप संबंधी हलचल तिरक्षी सर्पण घटक के भ्रंश तल हल के आधार पर पाई गई। इसके विपरीत भुज के बाद के भूकम्पों की नाभीय गहराई 2 किलोमीटर से 28–30 किलोमीटर थी। इसके बाद के भूकम्पों के भ्रंश तल हल के अनुसार कच्छ मुख्य थल भ्रंश में पूर्व पश्चिम दिशा में उथले तथा गहरे झुके हुए तल में उत्क्रम हलचल थी। उत्तरी व दक्षिणी बागड़ भ्रंशों में कुछ भूकम्पों में नतिलंब सर्पण गति भी पाई गई।

तालिका 3 से स्पष्ट होता है कि यद्यपि भुज और मुजफराबाद भूकम्प एक ही परिमाण के थे, परंतु उनके अंतर प्लेट व अन्तरा प्लेट में उत्केंद्र होने से उनके बाद के भूकम्पों में विशिष्टता पाई गई। मुजफराबाद भूकंप में सबसे अधिक भूकम्प का परिमाण 6.4 था जो बाथ नामक भूकम्प विशेषज्ञ के नियम के अनुकूल था। बाद के भूकम्पों की संख्या (5.5 परिमाण से अधिक) 13 थी जिनसे मकानों में क्षति भी बढ़ती गई। परंतु भुज भूकम्प में सबसे बड़ा बाद का भूकम्प 5.9 परिमाण का हुआ और 5.5 परिमाण से अधिक भूकम्पों की संख्या केवल 2 थी। मुख्य भूकम्प के तुरंत बाद के बड़े भूकम्पों के परिमाण भी क्रमशः 5.9 और 5.3 थे। सबसे बड़े बाद के भूकम्प दोनों मुख्य भूकम्पों से क्रमशः 7 घंटे और 46 घंटे बाद हुए। चौधरी और श्रीवास्तव (1973) ने भारतीय भूकम्पों का अध्ययन करके यह निष्कर्ष निकाला कि 50 प्रतिशत भूकम्पों के सबसे बड़े बाद के



चित्र 4. (क) भुज भूकम्प के बाद के भूकम्पों के उत्केंद्र, भारत मौसम विज्ञान विभाग, 2002 और इंस्टीट्यूट ऑफ सीस्मोलोजिकल रिसर्च, गांधी नगर (2010 तक) (ख) मुजफराबाद भूकम्प के बाद के भूकम्प (2010 तक) यू एस जियोलोजिकल सर्वे

भूकम्प दो घंटे में हो जाते हैं। उत्तरकाशी, 1991, लाटूर 1993, जबलपुर 1997, चमोली 1999 भूकम्पों में सबसे बड़े बाद के भूकम्प क्रमशः लगभग ढाई घंटे, 45 मिनट, 13 दिन और 31 मिनट में हुए।

यदि हम M-M_0 (मुख्य भूकम्प परिमाण – बाद के सबसे बड़े भूकम्प परिमाण) का मान निकालें, तब हम देखते हैं कि भारतीय क्षेत्र में इनमें स्थानीय परिवर्तन है। अर्थात् उत्तरकाशी 1991, लाटूर 1993, जबलपुर 1997 तथा चमोली भूकम्पों में M-M_0 का मान क्रमशः 1.4, 1.3, 2.5 तथा 1.1 पाया गया। श्रीवास्तव व काम्बले (1972) ने यह अंतर हिमालय क्षेत्रों में 0.6 से 1.0 निकाला। कोयना भूकम्प में यह अंतर 1.2 देखा गया। यदि इसको ध्यान में रखें तो हम देखते हैं भारतीय पठार में भूकम्प की नाभीय गहराई अधिक (≈25–30 कि. मी.) होने पर M-M_0 का मान बढ़ जाता है जैसा भुज तथा जबलपुर भूकम्पों में देखा गया। परंतु हिमालय क्षेत्र में नाभीय गहराई कम होने के कारण M-M_0 में कम परिवर्तन (0.5 से 1.3) हो सकते हैं।

तालिका 3

भुज (2001) तथा मुजफराबाद (2005) भूकम्पों के बाद के भूकम्प

क्र.सं.		भुज भूकम्प	मुजफराबाद भूकम्प
1.	मुख्य भूकम्प परिमाण	7.6	7.6
2.	तुरंत बाद का बड़ा भूकम्प परिमाण	5.3	5.9
3.	सबसे बड़ा बाद का भूकम्प	5.9	6.4
4.	मुख्य व सबसे बड़े भूकम्प का समयांतर	46 घंटे	7 घंटे
5.	बाद के भूकम्पों की संख्या (5 से अधिक) दो वर्षों में	9	41
6.	बाद के भूकम्पों की संख्या (5.5 से अधिक)	2	13

प्रश्न उठता है कि भुज भूकम्प (2001) तथा उसके सबसे बड़े भूकम्प के परिमाण में अधिक अंतर तथा पांच परिमाण से बड़े भूकम्प की बहुत ही कम संख्या का कारण क्या था। मैग्नेटो टेलूरिक प्रेषण से यह स्पष्ट हो गया कि भुज क्षेत्र में एक चालक परत है जिसमें द्रव पदार्थ की सम्भावना भारतीय चुंबकीय सस्थान, मुंबई ने व्यक्त की है। बाद के भूकम्पों के आधार पर भी यह देखा गया है कि अधिकतर भूकम्प या तो 10 किलोमीटर के ऊपर थे अथवा 20 किलोमीटर से नीचे मुख्य भूकम्प की नाभीय गहराई के आसपास। भूकम्प होने के बाद ही इस मृदुल पर्त ने भूकम्पीय विकिरण ऊर्जा का ह्रास कर दिया जिससे बाद के भूकम्प उतने बड़े नहीं हो सके जितने मृदुल पर्त के न होने में होते। भुज भूकम्प में पिंड तरंगों से निकाले गए परिमाण भी इसी कारण पृष्ठीय तरंगों अथवा मोमेंट परिमाण से काफी कम थे जो एक चर्चा का विषय बन गया था। प्रश्न यह है कि मुजफराबाद भूकम्प का पिंड तरंग परिमाण भी कम क्यों था। इसका मुख्य कारण भूकम्प का उत्केंद्र भंगुर भूकम्पीय परत में होने के कारण Q का कम होना है जिससे M_B पर प्रभाव पड़ा। भुज भूकम्प का पृष्ठीय तरंग परिमाण मुजफ्राबाद भूकम्प से कुछ अधिक था।

अतः स्पष्ट है कि यद्यपि मुजफराबाद तथा भुज भूकम्प एक ही मोमेंट परिमाण के थे, परंतु उनकी नाभीय गहराई में विवर्तनी ढांचे में अन्तर होने के कारण बाद के भूकम्पों की विशिष्टताओं में अंतर पाया गया।

बाद के भूकम्पों का प्रमुख कारण विभिन्न स्थानीय और कालिक मापक्रमों में प्रतिबल पुनबंटन क्रिया है। इससे अतिरिक्त निम्न प्रभाव भी हो सकते हैं :

(*i*) सह भूकम्पी प्रभाव में प्रत्यास्थता विश्रांति (रिलैक्सेशन)

(*ii*) पृष्ठ और ऊपरी प्रावरण में श्यान प्रत्यास्थ विश्रांति

(*iii*) गतीय प्रतिबल में परिवर्तन

(*iv*) स्थैतिर प्रतिबल में परिवर्तन

(*v*) बाद का विसर्पण (फिसलन या स्लिप)

यह जानने के लिए कि बाद के भूकम्प कहां पर होंगे, कूलम्ब प्रतिबल विफलता विधि का प्रयोग किया जाता है। यह कल्पना की जाती है कि मुख्य भूकम्प के बाद के झटके की संख्या अधिक कूलम्ब स्थिर परिवर्तन वाले स्थान पर अधिक होंगी। मुजफराबाद 2005 भूकम्प में पारसन्स और उनके सहयोगियों (2006) ने इंडस कोहिस्तान भूकम्पीय क्षेत्र में फटन के उत्तर पश्चिमी दिशा में प्रतिबल की मात्रा अधिक पाई जहां पर बाद के भूकम्पों का एक बड़ा झुंड था। उसके उत्तर–पूर्वी कश्मीर बेसिन की ओर भी प्रतिबल की मात्रा अधिक पाई गई। इसी क्षेत्र में 1555 और 1885 के बड़े भूकम्प कश्मीर घाटी में हुए थे। इसके बाद के भूकम्पों के उत्केंद्र एक दीर्घ वृत्ताकार की लम्बी अक्ष में फैले हुए थे जो इन्डस कोहिस्तान भूकम्पीय क्षेत्र के समानान्तर हैं। इन्हीं क्षेत्रों में सबसे अधिक भूकम्प से क्षति तथा कूलम्ब प्रतिबल स्थानान्तर भी पाया गया।

7. मुख्य तथा बाद के भूकम्पों में ऊर्जा

भूकम्पों से भूकम्पीय ऊर्जा निष्कासन (एनर्जी रिलीज) E निकालने के लिए निम्न समीकरणों का प्रयोग किया जाता है :

(*i*) लघु $E = 11.8 + 1.5\ M_S$ (1)

(*ii*) $E = (\Delta\delta/2\mu) \times M_0$ (2)

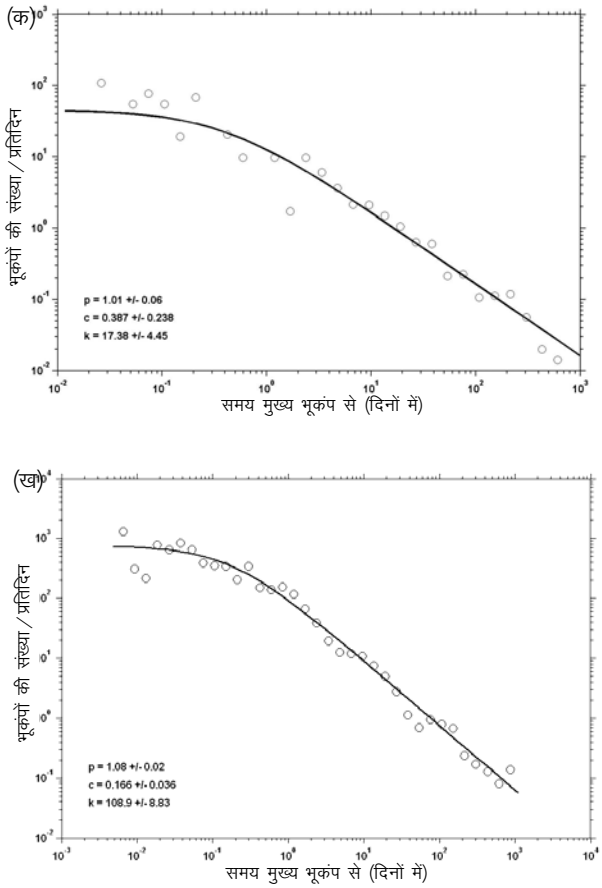
M_S = पृष्ठीय परिमाण = 8.0 और 7.7, (भुज और मुजफराबाद भूकम्प क्रमशः)

M_0 = भूकम्पीय मोमेंट = 2.94×10^{20} न्यूटन–मीटर

$\Delta\delta$ = प्रतिबल (स्ट्रेस) ड्राप = 200 बार व 100 बार (भुज व मुजफराबाद क्रमशः)

M = दृढ़ता गुणांक = 3×10^{11} डाइन प्रति सेकेंड

यदि हम पृष्ठीय तरंग परिमाण का प्रयोग करें तो भूकम्पीय ऊर्जा मुजफराबाद भूकम्प की अपेक्षा भुज भूकम्प से अधिक निकली। परंतु स्ट्रेस ड्राप को लेकर भुज भूकम्प से लगभग दुगुनी ऊर्जा निकली (यदि हम दोनों स्थानों पर दृढ़ता गुणांक समान ही रखते हैं)। चूंकि मुजफराबाद के बाद के भूकम्पों में पांच से बड़े भूकम्पों की संख्या भुज के बाद के भूकम्पों की अपेक्षा अधिक थी, भूकम्पीय ऊर्जा भी मुजफराबाद क्षेत्र में बाद के भूकम्पों से अधिक निकली। इसका तात्पर्य यह



चित्र 5 (क) बाद के भूकम्पों में क्षय काल (भुज भूकम्प, 2001) (ख) बाद के भूकम्पों में क्षय काल (मुजफराबाद भूकम्प, 2005)

है कि अंतर प्लेट क्षेत्र के मुजफराबाद भूकम्प की गहराई भंगुर भूकम्पीय परत (ब्रिटिल) में होने से उस क्षेत्र की एस्पेरिटियों द्वारा भूकम्पीय ऊर्जा निकल जाती है जो मुख्य भूकम्प में कम निकल पाई। सिंह व उनके सहयोगियों (2004, 2006) के निष्कर्ष भुज भूकम्प से दुगुनी विकिरण दक्षता भी भूकम्पी ऊर्जा निष्काशन परिणामों के अनुकूल थे। अतः अंतर प्लेट क्षेत्र में मुख्य भूकम्प ऊर्जा निष्काशन और बाद के भूकम्पों से ऊर्जा निष्काशन का अनुपात अंतरा प्लेट क्षेत्र की अपेक्षा काफी कम होती है।

8. बाद के भूकम्पों के क्षय काल

बाद के भूकम्पों की संख्या, मुख्य भूकम्प के बाद अतिपरवलयिक (हाइपरबोलिक) क्षय (डिके) के अनुसार घटते हैं। यद्यपि अधिकतर एन. टी. = ए. टी.$^{-एच}$ ($nt = At^{-h}$) का प्रयोग किया जाता है, परंतु निम्न समीकरण का प्रयोग अधिक सही माना जाता है :

$$n(t) = A/(t + B)^{-h} \quad (3)$$

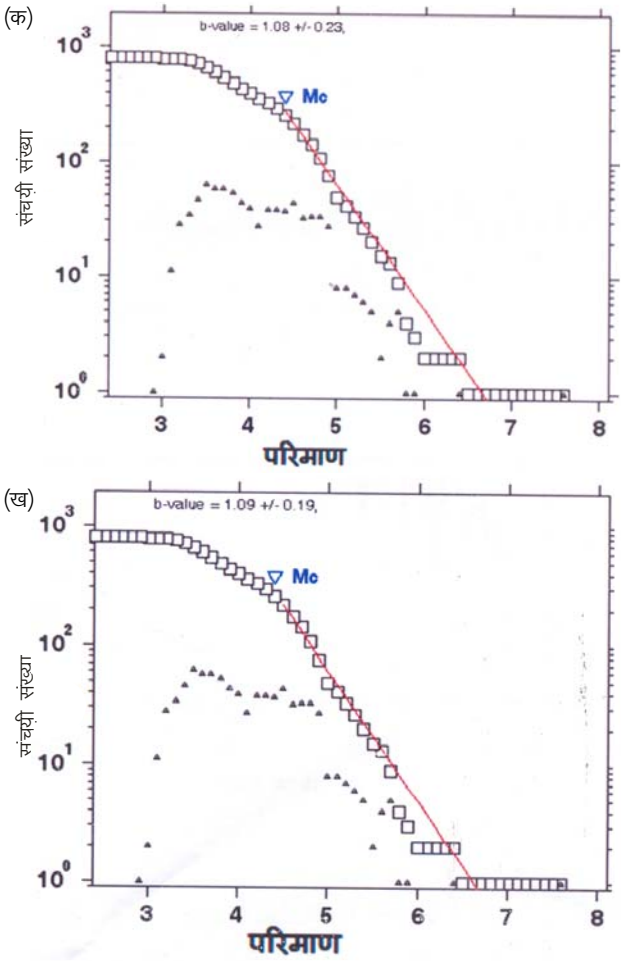
चित्र 5 (क) व (ख) में भुज 2001 व मुजफराबाद 2005 भूकम्पों के बाद एक ही समय अर्थात् तीन वर्षों में रिकार्ड किए गए, बाद के भूकम्पों की संख्या ली गई जिससे दोनों क्षेत्रों के भूकम्पों में क्षय की दर स्पष्ट हो सके। इसके अनुसार इन दोनों बाद के भूकम्पों की संख्या के आधार h का मान क्रमशः 1.0 और 1.08 पाया गया। इसका तात्पर्य यह है कि भुज क्षेत्र में भूकम्पों की संख्या मुजफराबाद की अपेक्षा कुछ धीरे घटी। भारत मौसम विज्ञान विभाग ने 3 परिमाण से अधिक बाद के भूकम्पों के आधार पर 26 जनवरी 2001 से 29 अगस्त 2002 तक h का मान –1.22 पाया। अर्थात प्रारंभ के तीन महीनों में भुज क्षेत्र में भूकम्प तीन साल के आंकड़ों की अपेक्षा जल्दी जल्दी घटे परंतु बाद में संख्या धीरे–धीरे घटने लगी। यदि हम h की तुलना हिमालय व पठार क्षेत्र के अन्य भूकम्पों से करे (श्रीवास्तव और काम्बले, 1972), हम देखते हैं कि h का मान अधिक पाया गया है। इसका प्रमुख कारण यह है कि मुख्य भूकम्पों का परिमाण कम (< 6.8) था, अतः बाद के झटके भी जल्दी ही कम हो गए।

गुटेनबर्ग तथा रिक्टर ने भूकम्पों की संख्या N तथा परिमाण M के बीच निम्न समीकरण पाया :

$$\text{लघु एन } (N) = a - b \text{ एम } (M) \qquad (4)$$

इसमें a व b नियतांक है जो उस स्थान के भूकम्पों की संख्या निश्चित क्षेत्र व समय में गणना करके निकाले जाते हैं। भुज 2001 तथा मुजफराबाद 2005 भूकम्पों के बाद के भूकम्पों की संख्या तथा परिमाण के आधार पर 'a' तथा 'b' की गणना दोनों की शृंखलाओं को एक निश्चित काल जैसे तीन वर्ष तक के आंकड़ों से की गई जो चित्र 6 (क), (ख) में दिखलाया गया है। यह आंकड़े यू. एस. जी. एस. सूची पर आधारित है। इससे b का मान क्रमशः 1.08 और 1.09 पाया गया। अर्थात हिमालय के अधिक सक्रिय क्षेत्र में b के मान में भुज क्षेत्र की अपेक्षा कम अंतर पाया गया। भुज के आसपास कई स्थानों में विभिन्न काल के लिए बाद के झटकों को रिकार्ड करने के लिए भूकम्प लेखी लगाए जिससे कम परिमाण के भूकम्पों की संख्या बढ़ गई। इसके आधार पर 'b' की गणना की गई। 2001–2004 के भूकम्पों के आधार पर मंडल व उनके सहयोगियों ने b का मान कच्छ क्षेत्र में 0.77 निकाला।

भारत मौसम विज्ञान विभाग ने जनवरी से दिसम्बर 2001 के बाद के भूकम्पों (4 परिमाण या इससे अधिक) से b का मान 0.89 निकाला। (भुज भूकम्प रिपोर्ट, भारत मौसम विज्ञान) सिंह और चौहानं (2011) ने 2006 से 2009 में बाद के भूकम्पों के आधार पर निकाला कि 20 से 25 किलोमीटर के बीच की परत में b का मान अधिक है। परंतु 2001 भुज भूकम्प के उदगम स्थान के ऊपर और नीचे b का मान कम निकला। पूरे क्षेत्र में b का मान लगभग 1 था। उत्तर–पूर्वी तथा उत्तर–पश्चिमी मुख्य भूकम्प की दिशा में कम b और अधिक पी वेग Vp पाया गया। इससे निष्कर्ष निकाला गया कि वहां पर



चित्र. 6. (क) भुज भूकम्प में इ का मान (ख) मुजफराबाद भूकम्प में इ का मान (यू एस जियोलोजिकल सर्वे के आंकड़ों पर आधारित)

काफी समर्थ चट्टानें हैं जिनमें फटे हुए अधिक दाब में गैस भरे हुए शैल समूह हैं और पिघली हुई चट्टानें नहीं हैं। यह ध्यान देने योग्य हैं कि 2004 के बाद पांच परिमाण या उससे अधिक भूकम्पों की संख्या बहुत ही कम हो गई। अतः b का मान जो तीन वर्ष के आंकड़ों के आधार में इस शोध पत्र में निकाला गया, उसकी अपेक्षा 2004 से बाद के बड़े व छोटे भूकम्पों का अनुपात बहुत कम हो गया जिससे 'b' का मान बदल गया।

हिमालय के अन्य बाद के भूकम्पों में b का मान उत्तरकाशी (1991), चमोली (1999), किन्नौर (1975), अनंतनाग (1967), नेपाल–भारत सीमा (1966) में 1.23, 0.54, 0.86,0.60 और 0.60 निकाले गए (श्रीवास्तव, 2004)। पठार के क्षेत्र के बाद भूकम्पों में जबलपुर भूकम्प (1997) में b का मान 0.54 पाया गया। इससे निष्कर्ष निकलता है कि यदि भूकम्प की नाभीय गहराई अधिक हो जैसे भुज तथा जबलपुर भूकम्पों में, तब भी 'b' के मान में अंतर हो सकता है। यद्यपि b की विवेचना विवर्तनी क्षेत्र और प्रतिबल की मात्रा के आधार पर

तालिका 4

पी और एस तरंगों के स्पेक्ट्रा की तुलना

तारीख	उद्‌गम समय	स्टेशन	उत्केंद्र अक्षांश (उ.)	देशांतर (पू.)	नाभीय गहराई (कि.मी.)	परिमाण		मोमेंट	स्ट्रेस ड्राप कार्नर		स्रोत त्रिज्या
						M_L	M_W	न्यू. मी.	(बार)	आवृत्ति (हर्टज)	(कि.मी.)
28 जनवरी 2001	01:92:12	भुज	23.71	70.56	(*i*) पी तरंगें (उद्ववर्धार)	5.6	5.4	17.12	18.2	0.4	3.2
					(*ii*) एस तरंगे (औसत)	5.2	5.8	24.8	4.3	0.17	8.7
8 फरवरी 2001	16:54:53	भुज	23.75	70.43	(*i*) पी तरंगें (उद्ववर्धार)	5.3	5.2	16.87	20.4	0.5	5.1
					(*ii*) एस तरंगें (रेडियल)	5.3	5.3	16.97	10.6	0.4	3.4
					(*iii*) एस तरंगें (अपुप्रस्थ)	5.2	5.3	17.01	3.2	0.3	5.2
17 नवंबर 2001	12:.20:18	भुज	23.60	69.9	(*i*) पी तरंगें (उद्ववर्धार)	4.1	3.7	14.63	0.8	1.728	1.3
					(*ii*) एस तरंगे (रेडियल)		3.8	14.79	2.7	1.336	1.0
					(*iii*) एस तरंगें (अनुप्रस्थ)		3.8	14.85	3.6	1.401	1.0

तालिका 5

मुजफराबाद भूकम्पों के पूर्व कम्प और बाद के भूकम्प के स्पेक्ट्रा (एक ही परिमाण के)

न.	तारीख	उत्केंद्र उ.	घटक पू.	नाभीय गहराई (कि.मी.)	परिमाण	मोमेंट न्यू. मी.	मोमेंट परिमाण	स्ट्रेस ड्राप (बार)	कार्नर फ्रिक्वेंसी (हर्टज)	स्रोत त्रिज्या (कि.मी.)
1	24 दिसंबर 2000	24.0	69.9	15	4.1					
	(भुज) पूर्वकम्प (*i*) स्टेशन भोपाल (रेडियल)					14.02	3.3	3.9	2.716	0.5
						14.26	3.5	2.1	1.847	0.7
	(*ii*) भुज (रेडियल)					14.77	3.8	1.7	1.171	1.1
	(अनुप्रस्थ)					14.45	3.6	3.2	1.825	0.7
2	17 नवंबर 2001	23.6	69.9	5	4.1					
	(भुज) बाद का भूकम्प (*i*) स्टेशन भुज (रेडियल)					14.79	3.8	2.7	1.336	1.0
	(*ii*) (अनुप्रस्थ)					14.85	3.8	3.6	1.401	1.0
3	5 फरवरी 2005	34.4	73.4	15	4.5					
	(मुजफ्राबाद) पूर्वकम्प									
	(*i*) स्टेशन काल्पा (रेडियल)					16.51	4.9	118.2	1.2	1.1
	(*ii*) स्टेशन सोनीपत (अनुप्रस्थ)				15.19	4.1	24.9	1.9	0.6	
4	10 अक्तूबर 2005	34.8	72.8	10	4.5					
	(मुजफराबाद) बाद के भूकम्प									
	(*i*) स्टेशन अजमेर (रेडियल)				15.51	4.3	8.6	1.1	1.2	
	(*ii*) स्टेशन भोपाल (रेडियल)				15.35	4.2	3.8	0.9	1.4	
	(*iii*)स्टेशन भुज (अनुप्रस्थ)				15.44	4.2	2.8	0.8	1.6	

नोट *: अन्य घटको से स्पेक्ट्रा नही निकाले जा सके।*

मोगी (1963) तथा शोल्ज (1973) नामक वैज्ञानिकों ने प्रयोगशाला में शैल के ऊपर प्रयोग करके निकाला है, परंतु इनसे विभिन्न प्रकार के भूकम्प परिमाणों तथा बाद के भूकम्पों के विभिन्न काल के आंकड़ों के आधार पर विवर्तनी क्षेत्र के विषय में निश्चित परिणाम निकालना दुष्कर है। परंतु बाद के भूकम्पों को अलग करके किसी विवर्तनी क्षेत्र में विभिन्न परिमाण के भूकम्पों का पुनर्रावृत्ति काल भूकम्प जोखिम आंकने के लिए 'b' महत्वपूर्ण है।

9. पी और एस तरंग स्पेक्ट्रा

भूकम्पीय घूर्ण, फटन, तल का आकार, स्रोत विघटन, स्ट्रेस ड्राप को भूकम्पलेखी द्वारा एस तरंग विस्थापन स्पेक्ट्रम निकाल कर गणना की जाती है। भूकम्प अभिलेख से उपकरण का रेसपांस अलग करके सही भू हलचल (विस्थापन) निकाला जाता है। प्रत्येक वेधशाला के उर्द्धाधर, उत्तर–दक्षिण और पूर्व–पश्चिम घटकों को घुमाकर वृहत वृत्त मानचित्रण (प्रोजेक्शन) से त्रेज्जिक (रेडियल) तथा अनुप्रस्थ घटकों में बदला जाता है। एस तरंग स्पेक्ट्रम को अनुप्रस्थ घटकों से गणना की जाती है। फिर इनमें क्षीणन तथा मार्ग प्रभाव द्वारा स्पेक्ट्रा ठीक किया जाता है। इसको ग्राफ में अंकित करके स्पष्ट होता है कि आयाम की स्तर कम आवृत्तियों पर एक समान (स्थिर) रहती है परंतु अधिक आवृत्ति पर यह ω^{-2} के अनुसार कम होने अर्थात् घटने लगती है। अतः इन दोनों के विस्थापन स्पेक्ट्रमों को दो ऋजु रेखाओं द्वारा दिखाया जा सकता है। इन दोनों रेखाओं के विच्छेदन बिंदु से कार्नर आवृत्ति निकली आती है। दूसरे शब्दों में कम आवृत्ति तथा अधिक आवृत्ति के एसिम्पटोट जिस बिंदु पर मिलते हैं उसको कार्नर आवृत्ति कहते हैं।

ब्रून (1970) ने एस तरंगों के सुदूर क्षेत्र विस्थापन स्पेक्ट्रा का विवेचन भूकम्पीय घूर्ण (M_0), श्रोत त्रिज्या (r) और स्ट्रेस ड्राप ($\Delta\delta$) से किया। इस माडल का उपयोग हैंक्स और वाइस (1972) ने पी तरंगों से किया। एस (s) तरंगों (ब्रून 1970) से भूकम्पीय घूर्ण (मोमेंट) (एम. M) की गणना निम्न समीकरण से की जाती है :

$$\text{एम } (M_0) = 4\pi \text{ रो } (\rho) \text{ बीटा } (\beta)^3 \text{ आर } (R) \times (\text{ए}_0)\ A_0/R\theta\phi \quad (5)$$

यहां A_0 एस तरंगों का कम आवृत्ति स्पेक्ट्रल आयाम, आर (R) उत्केंद्र से दूरी, ρ घनत्व $R\theta\phi$, बीटा (β), श्रोत पर एस तरंग (S) का वेग, (ρ) स्रोत पर है। पी तरंगों से स्पेक्ट्रा घनत्व निकालने के लिए ρ तरंग वेग का प्रयोग किया जाता है। इसमें यह माना गया है कि वृत्तीय क्षेत्र माडेल का प्रयोग किया गया है। $R\theta\phi$ का मान 0.85 लिया जाता है। परंतु पी तरंग स्पेक्ट्रा में इसका मान 0.65 किया जाता है।

$$\text{कार्नर आवृत्ति } (F_e) = 2.34 \text{ बीटा } (\beta) / 2\pi\ r \quad (6)$$

इस समीकरण में आर (r) स्रोत का त्रिज्या (कि.मी.) है जो कार्नर आवृत्ति द्वारा निकाला जाता है।

$$\text{फटन क्षेत्र का क्षेत्रफल, } A = \pi r^2 = L \times W \quad (7)$$

$$\text{औसत विस्थापन, } D = M_0/\mu A \quad (8)$$

जहां μ दृढ़ता गुणांक है

$$\text{प्रतिबल स्ट्रेस ड्राप } = 7M_0/16r^3 \quad (9)$$

स्टैटिक स्ट्रेस ड्राप को भ्रंश फिसलन के क्षेत्रफल से निकाल सकते हैं।

$$\Delta\delta = 8\mu/3\pi\ (D/W) \quad (10)$$

भ्रंश की लंबाई और चौड़ाई क्रमशः L और W है। यह डिप स्लिप भ्रंशों के अनुकूल है जहां L>W क्षेत्रफल तथा त्रिज्या को किलोमीटर में मापा जाता है। आयाम स्पेक्ट्रा दूरी के अनुसार घटते हैं जिनका कारण ज्यामितीय फैलाव तथा आंतरिक घर्षण है। आंतरिक घर्षण अधिकतर शून्य लिया जाता है। ज्यामितीय फैलाव 1/आर (R) के आधार पर घटता है। पी व एस तरंगों के वेग क्रमशः 5.6 कि. मी. प्रति से. तथा 3.9 कि. मी. प्रति से. लिए जा सकते हैं। डाइनेमिक स्ट्रेस ड्राप प्राथमिक च तरंग वेग स्पंद (पल्स) आकार से निकाला जाता है।

$$\text{घूर्ण (मोमेंट) परिमाण } = 2/3 \text{ लघु } M_0 - 6.06 \quad (11)$$

यदि मोमेंट को न्यूटन मीटर में किया है।

$$\text{घूर्ण (मोमेंट) परिमाण } = 2/3\ M_0 - 10.73 \quad (12)$$

यदि मोमेंट M_0 को डाइन × सें. मी. में लिया गया है।

10. पी एवं एस तरंगों से निकाले गए स्पेक्ट्रा की तुलना

पी. तथा एस. तरंगों के स्पेक्ट्रम का तुलना तालिका 4 में की गई है। इससे स्पष्ट होता है कि भुज वेधशाला जो उत्केंद्र से सबसे निकट थी, उसमें 28 जनवरी 2001 के बाद के भूकम्प से मोमेंट परिमाण, प्रतिबल ड्राप, कार्नर आवृत्ति, पी तथा एस तरंगों से क्रमशः 5.6, 5.4, 18.2 बार, 4.3 बार और 0.17 व 0.4 हट्र्ज पाए गए। अर्थात इन दोनों के स्पेक्ट्रा में पर्याप्त अंतर है। इसी प्रकार 8 फरवरी 2001 और 17 नवम्बर 2001 के बाद के भूकम्पों से स्ट्रेस ड्राप और स्रोत त्रिज्या में भी अंतर है। परंतु चूंकि एस तरंगों से निकाले गए प्राचल ब्रून युक्ति से अधिक विश्वसनीय माने जाते हैं, इस शोध पत्र में सभी बाद के भूकम्पों के यह प्राचल एस तरंगों के स्पेक्ट्रा पर आधारित है। 24 दिसम्बर 2000 (तालिका 5) के पूर्व कम्प में यद्यपि घूर्ण (मोमेंट) भुज वेधशाला में रिकार्ड किए गए तीनों घटकों के

तालिका 6

भुज भूकम्प के बाद के भूकम्पों के स्पेक्ट्रा द्वारा उद्‌गम प्राचल

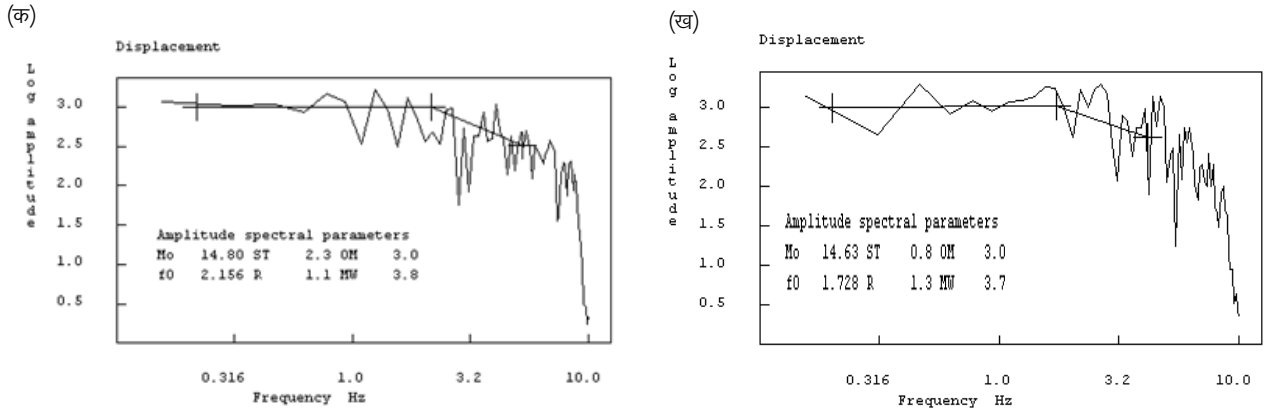
तारीख	उद्‌गम समय (यू.टी.सी.)	अक्षांश	देशांतर	नाभीय गहराई (कि.मी.)	परिमाण M_W	कार्नर आवति (हर्ट्‌ज)	श्रोत त्रिज्या (कि.मी.)	स्ट्रेस ड्राप (बार)
26 जन. 2001	3:33:31.1	23.20	70.15	13	5.4 6.3	0.092	41.1	5.6
26 जन. 2001	3:50:40.6	23.47	70.39	11	4.2 4.6	0.3	4.5	0.3
26 जन. 2001	4:23:45.5	23.33	70.29	8	5.2 5.3	0.092	17.9	0.5
26 जन. 2001	6:04:53.5	23.54	70.16	3	4.8 5.1	0.08	22.8	0.05
26 जन. 2001	7:32:30.2	23.48	69.90	5	5.2 5.1	0.2	7.0	1.0
26 जन. 2001	8:03:17.8	23.51	70.24	8	4.4 4.0	0.7	4.3	7.6
26 जन. 2001	8:42:27.1	23.22	70.39	8	4.6 4.0	1.4	1.5	3.5
26 जन. 2001	15:10:59.8	23.20	70.08	5	4.6 4.5	0.64	2.4	3.9
27 जन. 2001	1:27:35.2	23.57	70.17	5	3.5 4.0	0.35	4.3	0.37
27 जन. 2001	1:47:11.1	23.61	70.25	5	3.7 3.7	1.9	0.87	5.5
27 जन. 2001	3:33:37.2	23.49	70.33	2.3	4.2 4.3	1.7	1.82	16.4
27 जन. 2001	3:50:03.6	23.45	70.48	5.0	4.8 4.7	1.1	1.13	61.0
27 जन. 2001	4:15:16.1	23.41	70.24	2.3	4.1 4.0	1.61	1.0	8.8
27 जन. 2001	4:36:06.4	23.74	70.39	5	5.1 5.1	0.7	2.23	21.0
27 जन. 2001	4:52:50.0	23.26	70.16	5	3.9 4.2	1.21	0.96	12.0
27 जन. 2001	8:57:54.3	23.51	70.37	8	3.6 3.9	1.63	0.94	5.8
27 जन. 2001	9:50:31.6	23.41	70.24	8	3.8 3.8	1.7	1.22	3.0
28 जन. 2001	1:02:12.2	23.60	70.56	9	5.2 5.8	0.17	8.7	4.3
28 जन. 2001	20.51.50.0	23.25	70.21	10	4.0 4.3	0.54	2.3	0.2
29 जन. 2001	1:39:05.5	23.54	70.16	13	4.6 3.8	0.29	5.1	0.03
01 फर. 2001	8:42:14.8	23.61	70.33	10	3.1 4.3	0.2	9.8	0.1

एक समान थे, परंतु उद्धर्वाधर घटक से स्ट्रेस ड्राप, अनुप्रस्थ घटकों की अपेक्षा कम पाया गया। स्रोत त्रित्या भी इस घटक में अधिक थी, परंतु कार्नर आवृत्ति में कम अंतर था।

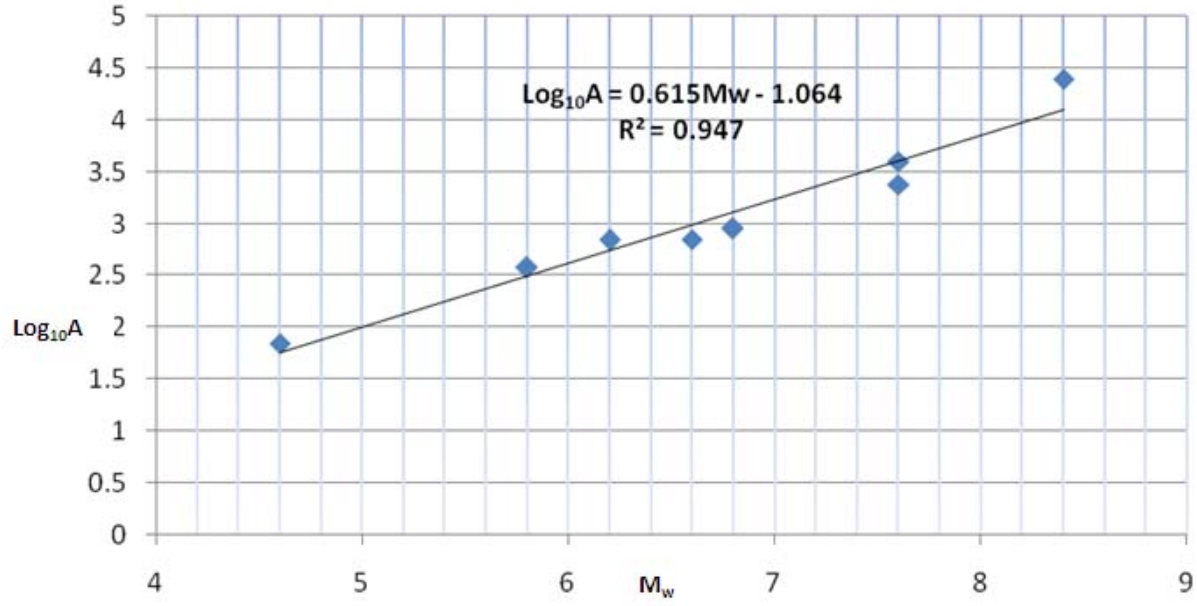
11. भुज 2001 तथा मुजफराबाद 2005 मुख्य भूकम्पों के स्पेक्ट्रा

सिंह और उनके सहयोगियों (2004, 2006) ने इन दोनों भूकम्पों के स्पेक्ट्रा, भारत मौसम विज्ञान विभाग की तथा अन्य विस्तृत बैंड भूकम्प लेखियों के आधार पर अध्ययन किया।

मुजफराबाद भूकम्प का स्पेक्ट्रा भुज भूकम्प की अपेक्षा आवृत्ति रेज 0.04 $\leq$ आवृत्ति (एफ) 0.5 Hz में अधिक था, परंतु एफ >7.4 Hz में यह दोनों स्पेक्ट्रा एक समान थे, सैद्धांतिक ω^2 उदगम मॉडल जिसमें $M_0 = 3.0 \times 10^{20}$ N^{-m} और कार्नर आवृत्ति fc = 0.51 Hz से प्रेक्षित स्पेक्ट्रा में समानता पाई गई। परंतु स्टेटिक प्रतिबल ड्राप भुज भूकम्प में मुजफराबाद भूकम्प से लगभग दुगुना था। मुजफराबाद भूकम्प का औसत भ्रंश स्लिप क्षेत्र, (लंबाई 100 किलोमीटर व चौड़ाई 15 किलोमीटर) के आधार पर 6.7 मी. था जबकि भुज भूकम्प में औसत स्लिप 5 मीटर था। इन दोनों भूकम्पों से ऊर्जा समान थी। परंतु विकिरण सामर्थ्य मुजफराबाद भूकम्प में भुज की अपेक्षा दो गुनी थी। टंडन और श्रीवास्तव (1975) ने निष्कर्ष निकाला था कि 6 से 6.5 परिमाण के भूकम्पों के स्ट्रेस ड्राप से प्लेट सीमा के विषय में महत्वपूर्ण परिमाण नहीं निकल सकते हैं। परंतु यदि भूकम्प लगभग 8 परिमाण का प्लेट की सीमा पर हो, तो विभिन्न प्रकार की प्लेट बाउंड्री में अंतर समझने के लिए महत्वपूर्ण है। महाद्वीप महाद्वीप–प्लेटों के टकराने वाली सीमा पर महाद्वीप समुद्री प्लेटों की सीमा की अपेक्षा प्रतिबल (स्ट्रेस ड्राप) बहुत अधिक होता है, जैसा मुजफराबाद 2005 भूकम्प के स्ट्रेस ड्राप की तुलना मैक्सिको 1985 भूकम्प से करने पर स्पष्ट होता है। इसी प्रकार 8 परिमाण के भूकम्पों से महाद्वीपीय प्लेट के अंतर व अंतरा क्षेत्र में स्ट्रेस ड्राप में काफी अंतर होता है जैसा भुज तथा मुजफराबाद भूकम्पों में पाया गया। परंतु यदि



चित्र 7. (क) भूकम्प के पूर्वकम्प (24.12.2000) और (ख) बाद के भूकम्प (17.11.2001) का स्पेक्ट्रा



चित्र 8. दो दशकों के भूकम्पों के मोमेंट परिमाण व उनके बाद के भूकम्पों के फैलाव का क्षेत्रफल (कि.मी. वर्ग)

हम इनके बाद के भूकम्पों (परिमाण 6 या कम) के आधार पर अंतर देखें तो स्ट्रेस ड्राप में भूकम्पों के परिणाम, गहराई व विवर्तिनी क्षेत्र में निश्चित परिणाम नहीं निकलते हैं (तालिका 6)। इसकी विस्तृत चर्चा आगे की जा रही है।

भुज तथा मुजफराबाद भूकम्पों के पूर्व तथा बाद के भूकम्पों के स्पेक्ट्रा भारत मौसम विज्ञान की विस्तृत बैंड़ डिजिटल भूकम्प लेखियों से निकाले गए हैं। भुज भूकम्प के पूर्वकम्प (24 दिसंबर 2000) का स्पेक्ट्रा चित्र 7. (क) में भुज के विस्तृत (ब्राड) वेधशाला पर तीनों घटकों पर अर्थात त्रैज्जिक (रेडियल) ऊर्द्धाधर तथा अनुप्रस्थ दिशा में दिखलाए गए हैं। इस भूकम्प का परिमाण 4.1 और नाभिकीय गहराई लगभग 15 कि.मी. थी। इसका औसत (दोनों एस तरंगों के घटकों) स्ट्रेस ड्राप 2.5 बार था। इसकी त्रिज्या औसत कार्नर आवृत्ति 1.5 थी। इसकी तुलना में इतने ही परिमाण के भूकम्प की त्रिज्या 1.35, कार्नन आवृत्ति प्रतिबल की मात्रा भी कुछ कम थी चित्र 7(ख)। यद्यपि मुजफराबाद भूकम्प के पास कोई वेधशाला नहीं थी, परंतु उससे पूर्व कम्प में स्ट्रेस ड्राप में अधिक अंतर पाया

गया। विभिन्न प्राचलों में अंतर होने से निश्चित परिणाम नहीं निकलते हैं। दत्तात्रेयम और उनके सहयोगियों (1995) ने उत्तरकाशी 1991 के भूकम्प में पूर्वकम्प तथा बाद के भूकम्पों में कोई अंतर नहीं पाया। चूंकि भुज क्षेत्र में बाद के भूकम्प अभी तक हो रहे हैं, इनका विश्लेषण विस्तारपूर्वक किया गया है। तालिका 6 में बाद के भूकम्पों के उत्केंद्र, स्ट्रेस ड्राप, कार्नर आवृत्ति तथा स्रोत त्रिज्या दिए गए हैं। इसकी समीक्षा करने पर बाद के भकम्पों के श्रोत प्राचलों से निम्न निष्कर्ष निकाले गए :

(*i*) 5 से 5.5 परिमाण के भूकम्पों के स्ट्रेस ड्राप, कार्नर आवृत्ति तथा स्रोत त्रिज्या क्रमशः 0.5 से 5.6 मे.पा., 0.09 से 0.7 हर्टज तथा 2 से 14 किलोमीटर पाए गए।

(*ii*) 3.5 से 4.5 परिमाण के भूकम्पों में स्ट्रेस ड्राप, कार्नर आवृत्ति तथा स्रोत त्रिज्या क्रमशः 0.1 से 6.0 मे. पा., 0.2 से 2.5 हर्टज तथा 1 से 10 किलोमीटर पाए गए।

(*iii*) सबसे पास की भुज वेधशाला के विस्तृत बैंड भूकम्प लेखी द्वारा रेडियल तथा ट्रांसवर्स (अनुप्रस्थ) घटकों में भी कभी–कभी अंतर पाया गया।

(*iv*) मंडल और दत्ता (2011) ने 38 बाद के भूकम्पों के स्पेक्ट्रा, अस्थाई वेधशालाओं द्वारा भूकम्पीय मोमेंट घूर्ण 3.1×10^{13} से 2.0×10^{17} न्यूटन मीटर, स्रोत त्रिज्या 226 से 889 मीटर तथा स्ट्रेस ड्राप 0.11 से 7.44 मे. पा. निकाला। इनके अनुसार बड़े भूकम्पों के स्ट्रेस ड्राप में काफी अंतर है, परंतु कम परिमाण के भूकम्पों में यह भूकम्पीय मोमेंट के समानुपाती है। कुछ भूकम्पों का भूकम्पीय परिमाण कार्नर आवृत्ति के समानुपाती है जो उनके कम फटन लंबाई के अनुकूल है। परंतु यह परिणाम विवादपूर्ण है। भूकम्प का मोमेंट परिमाण चूंकि मोमेंट से निकल जाता है, अतः अधिक परिमाण के भूकम्प का मोमेंट भी अधिक होगा। अतः इस अध्ययन के अनुसार भुज व मुजफराबाद मुख्य भूकम्प के परिमाण 7.6 थे, उनकी कार्नर फ्रिक्वेंसी सबसे अधिक होनी चाहिए थी। परंतु सिंह व उनके सहयोगियों (2004, 2006) तथा भारत मौसम विज्ञान विभाग (भुज भूकम्प 2001) ने कार्नर आवृत्ति काफी कम लगभग 0.05 हर्ट्ज निकाला। इस शोध पत्र द्वारा निष्कर्ष निकाला गया है कि भूकम्प के परिमाण का कार्नर आवृत्ति से विलोम संबंध है। अर्थात भूकम्प का परिमाण घटने पर कार्नर आवृत्ति बढ़ जाती है। अतः मंडल और दत्ता (2011) के परिणाम प्रश्नसूचक हैं।

तालिका 6 को ध्यान से देखने पर स्पष्ट होता है कि स्ट्रेस ड्राप तथा कार्नर आवृत्ति अधिकतर भूकम्प की गहराई पर निर्भर करते हैं। स्ट्रेस ड्राप में अधिक परिवर्तन का कारण यह है कि भ्रंश के विभिन्न भागों में छोटे पैमाने वाली एसपेरिटी में समरूपता न होने से उसको तोड़ने के लिए विभिन्न मात्रा में प्रतिबल की आवश्यकता होती है जिससे स्ट्रेस ड्राप बदलता रहता है।

12. बाद के भूकम्पों का क्षेत्रफल

भूकम्प होने के बाद अक्सर ही प्रश्न उठता है कि कितना बड़ा बाद में भूकम्प आ सकता है और कब। भारतीय भूकम्पों के आकड़ों के आधार पर हम कह सकते है कि बाद के भूकम्पों का सबसे अधिक परिमाण मुख्य भूकम्प के परिणाम से 0.5 से 1.5 कम हो सकता है। यह भूकम्प 30 मिनट से लेकर एक दो दिन तक साधारणतया हो जाता है (चौधरी और श्रीवास्तव 1973)।

बाद के भूकम्पों के क्षेत्रफल से भ्रंश के क्षेत्रफल का भी अनुमान हो जाता है। यदि इनके आंकड़े कुछ ही दिनों के लिए जाएं क्योंकि कुछ समय बाद आस पास के छोटे–छोटे भ्रंशों में भी हलचल उत्पन्न करके बाद के भूकम्प काफी बड़े क्षेत्र में फैल जाते हैं। मुख्य भूकम्प जितना बड़ा होगा, बाद के भूकम्प का परिमाण भी अधिक होगा। अतः जनता में और इमारतों आदि में दुबारा नुकसान पहुंच सकता हैं। अतः प्रश्न उठता है कि मुख्य भूकम्प होने के बाद कितने क्षेत्र में बाद के भूकम्प फैल सकते हैं। टंडन व श्रीवास्तव (1975) ने मुख्य भूकम्प के रिक्टर परिमाण M और बाद के भूकम्पों के क्षेत्रफल A से इस प्रकार सांख्यिकी संबंध निकाला।

$$\text{लघु} = 0.89\ M - 2.67 \quad 5 \leq M \leq 7 \qquad (13)$$

आजकल भूकम्प का परिमाण मोमेंट (घूर्ण) परिमाण में अधिकतर विस्तृत बैंड भूकम्प लेखी द्वारा मापा जाता है। इसका लाभ यह है कि पूर्व प्रचलित भूकम्प लेखी, बड़े भूकम्प में संतृप्त अवस्था में पहुंच जाते हैं और उनसे परिमाण का सही आंकन नही हो सकता। मोमेंट परिमाण को पी अथवा एस तरंगों के स्पेक्ट्रम से निकाला जाता है जैसा पहले बतलाया गया है।

भारतीय क्षेत्र में सबसे बड़ा भूकम्प 1950 में असम में हुआ जिसका मोमेंट परिमाण 8.4 निकला (अम्ब्रेसिस और डगलस 2004)। परंतु रिक्टर परिमाण में 8.7 निकाला गया था। इसके बाद के झटकों का क्षेत्रफल टंडन व श्रीवास्तव (1975) ने 75,000 वर्ग किलोमीटर आंका, परंतु मोल्नर और पांडे (1989) ने बाद के भूकम्पों के उत्केंद्र फिर से निकाल कर उनका क्षेत्रफल 25,000 वर्ग कि.मी. लिया। चूंकि पिछले दो दशकों में बाद के भूकम्पों के क्षेत्रफल तथा मोमेंट परिमाण अधिक वेधशालाओं द्वारा रिकार्ड किये गए हैं। अतः इन दोनों के बीच निम्नलिखित समीकरण निकाला गया है (चित्र 8)।

$$\text{लघु}_{10}\ A = 0.615\ M\omega - 1.06 \qquad (14)$$

सह समबन्ध गुणाँक = 0.948

यह समीकरण मुख्य भूकम्प के उत्केंद्र की गहराई 5 किलोमीटर से 30 किलोमीटर तथा परिमाण 4.5 से 8.5 परिमाण तक के लिए मान्य है। इसकी मान्यता मुख्य भूकम्प होने के कुछ दिनों तक ही है। उस अवस्था में बाद में भूकम्प का

क्षेत्रफल लगभग फटन क्षेत्र से कुछ अधिक होता है। कुछ समय बाद यह भूकम्प दूसरे आस पास के भ्रंशों को सक्रिय कर देते हैं जिसे उनका क्षेत्रफल बहुत बढ़ जाता है।

13. सह तथा बाद के भूकम्पी विस्थापन

जी. पी. एस. प्रेक्षणों के आधार पर जामनगर में एक स्थान पर सह भूकम्पी विस्थापन 16 किमीउत्तर 46° पूर्व दिशा भुज भूकम्प 2001 में पाया गया। बाद में औसत विस्थापन घट कर 1 से 2 मि. मी. प्रति माह रह गया। रेड्डी और सुनील (2007) ने 2001–2007 के बाद के भूकम्पी विस्थापन, उत्केंद्र के सबसे निकट स्थानों पर 30 मि. मी. उत्तर में तथा 25 मि. मी. पूर्व में पाया और सुझाव दिया कि 90 प्रतिशत विश्रांत भूकम्प एक वर्ष के अंदर ही हो गई। चौधरी और उनके सहयोगियों (2011) ने तीन वर्ष के आंकड़ों के आधार में औसत गति 49±1 मि. मी. प्रति वर्ष उत्तर, उत्तर–पूर्वी दिशा में पाया जो भारतीय प्लेट की गति के अनुसार है। इससे स्थानीय विस्थापन 2 से 5 मि.मी. प्रति वर्ष निकला। जी. पी. एस. के आंकड़ों के आधार पर उद्धर्वाधर दिशा में सबसे अधिक विस्थापन 13 मि. मी. प्रतिवर्ष भुज क्षेत्र में पाया गया। इतना अधिक विस्थापन इस कारण पाया गया क्योंकि जी पी एस से जो परिणाम भारत में निकाले जाते हैं वह वास्तव में एक मानक रेडियो वायुमंडल पर आधारित हैं। चूंकि भारत के ऊपर क्षोभमंडल में जलवायु में मानसून व अन्य कारणों के जलवाष्प में अधिक परिवर्तन होता है जिससे रेडियो अपवर्तनांक उद्धर्वाधर दिशा में बहुत अधिक बदलता है। अतः इसके कारण उद्धर्वाधर दिशा में जी. पी. एस. द्वारा निकाले गए माइक्रोवेब तरंगों के वेग में बहुत त्रुटि रह जाती है। अतः भारतीय क्षेत्र के रेडियो माडलों का प्रयोग करना आवश्यक है (श्रीवास्तव एवं पाठक 1969) जिससे उद्धर्वाधर दिशा में भी विस्थापन सही आंका जा सके। अन्यथा भुज और अन्य स्थानों में संशयपूर्ण परिणाम प्राप्त होते रहेंगे। चंद्रशेखर तथा बर्गमान (2010) ने जी. पी. एस. से क्षैतिज वेग कम पाया जिससे बाद के भूकम्पी श्यान प्रत्यास्थ विश्रांति में योगदान कम हुआ।

इसके विपरीत मुजफ्राबाद भूकम्प का सबसे अधिक सह भूकम्पी विस्थापन 44 कि. मी. दूर 26 से. मी. पाया गया (बेंडिक और उनके सहयोगी, 2007)। एक अन्य स्थान पर जो 85 किमी. दक्षिण में था, वहां 19 सें.मी. सह भूकम्पी विस्थापन हुआ। इस आफसेट के नतीजे उत्तर पूर्वी दिशा में झुके 80 कि. मी. लम्बे फटन और लगभग 5 मी. क्षेप फिसलन के अनुकूल है। बाद के भूकम्पी विस्थापन गुल्मार्ग में मापने से पता लगा कि इसकी गति उत्तर दिशा की ओर है। मुकुल और उनके सहयोगियों (2010) ने इसी के आधार पर काराकोरम भ्रंश में फिसलन 3 मि.मी. प्रति वर्ष आंकी जो प्रेक्षण द्वारा पृष्ठीय विस्थापन 1.4 से 2.4 मि.मी. प्रति वर्ष भ्रंश के ऊपर लिए गए जी.पी.एस. आंकड़ों पर आधारित थी। जी.पी.एस. द्वारा निकाले गए सतही विस्थापनों तथा बाद के भूकम्पों के आधार पर यह निष्कर्ष निकला कि मुजफ्राबाद भूकम्प बहु भ्रंश तलों पर हुआ और उसकी औसत फिसलन 5.1 मीटर हुई (बेंडिक व उनके सहयोगी 2007)।

14. तीव्र गति प्रभाव

भुज तथा मुजफ्राबाद भूकम्पों के उत्केंद्र से लगभग 250 किलोमीटर की दूरी पर क्रमशः अहमदाबाद एवं जम्मू से तीव्र गति त्वरणमापी यंत्रों द्वारा रिकार्ड प्राप्त हुए हैं। दोनों मुख्य भूकम्पों के तीव्र गति प्रभाव, उत्केंद्र पर या तो आनुभाविक समीकरणों द्वारा अथवा परिमित उदगम प्रसंभाव्यता माडेलों के आधार पर आंका गया है। सिंह और उनके सहयोगियों (2004, 2006) ने इ.जी.एफ. विधि का भी प्रयोग करके यह निष्कर्ष निकाला कि इन दोनों भूकम्पों के सुदूर क्षेत्र के भू–त्वरण में समानता थी यद्यपि यह दोनों भूकम्प विभिन्न विवर्तनी क्षेत्रों में हुए। इनके अनुसार भुज के उत्केंद्र (प्रतिबल ड्राप 200 बार) के ऊपर उच्चतम त्वरण 0.30 से 0.95 तथा मुजफ्राबाद भूकम्प के उत्केंद्र (प्रतिबल ड्राप 100 बार) के ऊपर 1g से अधिक सख्त चट्टानों पर अनुमान किया गया। इन लेखकों ने भुज तथा मुजफराबाद भूकम्पों में Q का मान क्रमशः 800 f और 500 f 0. 62 उदगम स्पेक्ट्रा से निकाल कर लिया। जैसा हम पहले देख चुके हैं, भुज भूकम्प का पिंड परिमाण, पृष्ठीय परिमाण की तुलना में कम होने के कारण भुज क्षेत्र में Q का मान कम होना चाहिए। इस कारण भुज भूकम्प तीव्र गति त्वरण भूकम्प के उत्केंद्र के निकट के स्थानों पर Q का मान अधिक लेने से, त्वरण सही नहीं आंका जा सकता है। भुज क्षेत्र में त्वरण कम होने का कारण उसकी अधिक नाभीय गहराई तथा एक चालक अथवा निम्न वेग परत है जिससे त्वरण पर प्रभाव पड़ सकता है। सिंह व उनके सहयोगियों (2006) ने मुजफराबाद भूकम्पों की तुलना में .04 $\leq$ आवृत्ति $\leq$ 0.5 हट्र्ज में अधिक त्वरण पाया। यदि दोनों भूकम्पों के एक ही समान स्ट्रेस ड्राप लेकर स्पेक्ट्रा निकालें जो सही नहीं है। अतः बड़े भूकम्पों के त्वरण अनुमान करने के लिए उनकी विधि में प्रयोग किए गए प्राचलों में त्रुटि हो सकती है। Q का उचित मान न मालूम होने से भी संदेहास्पद परिणाम निकलते हैं।

यही कारण है कि जब सिंह व उनके सहयोगी (2006) दोनों भूकम्पों के स्ट्रेस ड्राप एक ही समान लेते हैं, तब जम्मू तथा थांई स्टेशनों पर मापे गए त्वरण से काफी कम निकलता है। परंतु यदि स्ट्रेस ड्राप बढ़कर तीन गुना (300 बार) लिया जाता है, तब इन स्थानों के त्वरण सही निकलते हैं। परंतु अंतर प्लेट क्षेत्र में उथले भूकम्प के लिए उतना अधिक स्ट्रेस ड्राप नहीं लिया जा सकता। अतः उन लेखकों ने इन परिणामों को अन्य कारणों से संबंधित किया गया जो संशयपूर्ण है। परंतु इतना स्पष्ट है कि मुजफराबाद भूकम्प के उत्केंद्र के पास शीर्ष त्वरण, भुज की अपेक्षा अधिक था जिससे जम्मू तथा थाई स्टेशनों पर त्वरण अहमदाबाद की तुलना में अधिक बढ़ गया। अतः सैद्धांतिक युक्तियों के प्रयोग में अभी अधिक अनुसंधान की आवश्यकता है जिससे त्वरण का सही मान उत्केंद्र के पास आंका जा सके।

15. बाद के भूकम्पों का प्रवर्जन (माइगरेशन)

भुज 2001 के बाद के भूकम्प उत्तरी वागड भ्रंश के साथ फटन क्षेत्र पर फैले हुए थे। इसके बाद 2002 से भूकम्पीयता में

कमी हुई। परंतु 2005–2006 में बाद के भूकम्पों के उत्केंद्र पूर्व की ओर वागड क्षेत्र तथा उत्तर–पूर्वी गेदी भ्रंश को और प्रवर्जित होने लगे। इसी वर्ष द्वीप पट्टी (आइलैंड बेल्ट) भ्रंश पर बाद के भूकम्पों का सक्रिय क्षेत्र बढ़कर लगभग 60 कि.मी. से 70 कि.मी. हो गया (चित्र 3)। 3 फरवरी 2006 में 5 परिमाण का भूकम्प हुआ। 2008 मे बन्नी भ्रंश, कच्छ मुख्य थल भ्रंश के उत्तर में 200 × 60 वर्ग कि.मी. क्षेत्र सक्रिय हो गया। इस भ्रंश पर ही 1819 का बड़ा भूकम्प हुआ था। इस भ्रंश पर 4.5 परिमाण का भूकम्प 28 अक्टूबर 2009 में हुआ। इसके बाद ही 2010 में हुआ। 11 अगस्त 2010 में 4.1 परिमाण का भूकम्प उत्तरी वागड भ्रंश पर हुआ। परंतु शेष बाद के झटके 4 परिमाण से कम थे। भुज भूकम्प के बाद के भूकम्पों की गहराई से यह स्पष्ट हुआ कि 10 किलोमीटर तथा 20 कि.मी. के बीच बहुत ही कम भूकम्प पाए गए। अर्थात 10 किलोमीटर की एक मृदुल पर्त भ्रंश के नीचे है। इसके कारण मुख्य भूकम्प के उत्केंद्र के आसपास का द्रव पदार्थ धीरे–धीरे वागड तथा गेदी भ्रंशों की ओर बढ़ा और उनमें घर्षण कम होने पर भूकम्प होने लगे। जी पी एस आंकड़ों के आधार पर समायोजन प्रतिक्रिया कर्तन विरूपण अब 2–3 मि.मी. प्रति वर्ष होने के कारण लगभग नगण्य है।

मुजफराबाद भूकम्प के बाद के भूकम्प उत्केंद्र से लगभग 20–25 किलोमीटर उत्तर पश्चिमी दिशा की ओर अधिक हुए। कूलम्ब प्रतिबल वृद्धि की गणना से स्पष्ट होता है कि भुज भूकम्प 2001 के उत्तर–पूर्वी दिशा में इसकी मात्रा घट गई परंतु फिर भी बाद के भूकम्प उसी दिशा में बढ़ गए। इसी प्रकार मुजफराबाद भूकम्प 2005 से कूलम्ब प्रतिबल की मात्रा श्रीनगर की ओर अधिक थी, पर बाद के भूकम्पों को प्रवर्जन उस ओर कम हुआ। इसके कई कारण हो सकते हैं जैसे कूलम्ब प्रतिबल परिवर्तन की गणना घर्षण गुणांक पर निर्भर करती है जिसके मान की कल्पना की जाती है। सर्पण फलक (स्लिप फंकशन) यदि अधिक विस्तार से किए जाएं, तब कुछ मॉडल फिट बैठते हैं और कुछ नहीं। हरेक प्रकार के काल्पनिक उदगम मॉडल में तरंग रूप उत्सर्जन (वेब फार्म इनवर्सन) करके भ्रंश की लंबाई और चौड़ाई निकाली जाती है। परंतु चौड़ाई में अधिक त्रुटियां रह जाती हैं। इस विधि से लाभ यह है कि भ्रंश लंबाई/भ्रंश चौड़ाई का अनुपात फिसलन भ्रंश से दूर प्रतिबल की लोब तीव्रता को निर्धारित करने में सहायक है।

भूकम्पों के प्रवर्जन का दूसरा उदाहरण कोयना भूकम्प 1967 के क्षेत्र में देखा गया जहां कोयना जलाशय से लगभग 25 किलोमीटर दूर दक्षिण में वार्ना जलाशय बनाया गया। 1967 भूकम्प की उदगम क्रिया के आधार पर पूर्व उत्तर पूर्व दिशा में भ्रंश पाया गया जिसके ऊपर ही कई वर्षों बाद भूकम्पों का स्थानांतरण बार्ना जलाशय की ओर हुआ।

16. भुज 2001 तथा मुजफराबाद 2005 भूकम्पों में समानता

यद्यपि मुजफराबाद भूकम्प 2005 हिन्द (भारतीय) यूरशियन प्लेटों की सीमा में हुआ और भुज भूकम्प भारतीय प्लेट पश्चिमी सीमा से लगभग 350 किलोमीटर भारतीय प्लेट के अंदर हुआ, परंतु उनमें निम्न समानता थी :

(*i*) दोनों भूकम्प का घूर्ण परिमाण 7.6 था।

(*ii*) दोनों भूकम्प की उदगम क्रिया क्षेप भ्रंश थी।

(*iii*) दोनों भूकम्प का भूकम्पीय घूर्ण भी बराबर था।

(*iv*) दोनों भूकम्पों का औसत विस्थापन लगभग 5 से 6 मीटर था।

(*v*) दोनों भूकम्प उस क्षेत्र में हुए जहां लगभग 200–250 वर्ष पूर्व (भुज 195 वर्ष, मुजफराबाद 255 वर्ष) इतने ही परिमाण के भूकम्प हुए थे।

(*vi*) भूकम्पों के स्पेक्ट्रा में आवृत्ति 0.05 हर्ट्ज से अधिक में समानता पाई गई (सिंह व उनके सहयोगी, 2004)।

(*vii*) इन दोनों भूकम्पों से पहले 45 से 50 वर्ष पूर्व इन्हीं क्षेत्रों में 6.0 परिमाण का एक भूकम्प हुआ।

(*viii*) गुटेनबर्ग रिक्टर समीकरण द्वारा निकाले गए बाद के भूकम्पों की तीन वर्ष की संख्या व परिमाण से भुज में गुणांक b का मान 1.08 निकला जो मुजफराबाद भूकम्प के लगभग बराबर था।

17. भुज 2001 तथा मुजफराबाद 2005 भूकम्पों में अंतर

(*i*) मुजफराबाद भूकम्प की अपेक्षा भुज भूकम्प कुछ अधिक गहराई (≈25 कि.मी.) में हुआ।

(*ii*) भुज तथा मुजफराबाद भूकम्पों के पिंड तरंग परिमाण भी लगभग बराबर थे परंतु भुज भूकम्प का पृष्ठीय तरंग परिमाण मुजफराबाद भूकम्प से कुछ अधिक था। यह ध्यान देने योग्य है कि दोनों भूकंपों में नाभीय गहराई में लगभग 10 कि. मी. के अंतर आने के अनुसार मुजफराबाद भूकंप का पृष्ठीय परिमाण, भुज की अपेक्षा अधिक होना चाहिये। परन्तु 7.0 परिमाण से बडे भूकंपों में विभिन्न त्रृटियों के कारण पूर्ण परिमाण ही सबसे अधिक विश्वसनीय है।

(*iii*) भुज भूकम्प के महसूस होने की सबसे अधिक दूरी 1500 किलोमीटर से अधिक थी, (टंडन और उनके सहयोगी, 2001) परंतु मुज्जफराबाद भूकम्प 1200 किलोमीटर तक महसूस किया गया।

(*iv*) भुज तथा मुजफराबाद तथा उनके सबसे बड़े बाद के भूकम्प के परिमाण का अंतर क्रमशः 1.9 तथा 1.3 पाया गया।

(*v*) भुज भूकम्प के दो वर्षों में 5 परिमाण से अधिक बाद के भूकम्पों की संख्या 9 थी। उतने ही समय में मुजफराबाद

भूकम्प से 41 बाद के भूकम्प रिकार्ड किए गए। इसी तरह 5.5 से अधिक परिमाण के बाद के भूकम्प क्रमशः 2 और 13 रिकार्ड किए गए।

(*vi*) भुज भूकम्प से पहले उसकी भूकम्पनीयता का नमूना भूकम्पों की संख्या कम होने से अध्ययन नहीं किया जा सका। मुजफराबाद भूकम्प से पहले भूकम्पीयता में कमी (रिक्त स्थान) पाई गई। परंतु मुख्य भूकम्प आने से पहले डाइलेटेन्सी मॉडल के अनुसार पूर्व कम्पों की संख्या बढ़ गई।

(*vii*) उदगम क्रिया के आधार पर मुजफराबाद भूकम्प का कक्ष (ऐक्सस) वहां के भ्रंश के लगभग समकोण दिशा में प्लेट टेक्टानिक्स के अनुकूल था।

(*viii*) प्रतिबल (स्ट्रेस) गिराव (ड्राप) भुज भूकम्प में मुजफराबाद भूकम्प की अपेक्षा लगभग दुगुना था। महाद्वीपीय प्लेटों के टकराव के क्षेत्र की तुलना में हिमालय क्षेत्र में स्ट्रेस ड्राप अधिक था।

(*ix*) भुज भूकम्प के बाद के झटकों की संख्या के आधार पर ओमोरी सिद्धांत में गुणांक h का मान 26 जनवरी से लेकर अगस्त 2002 तक −1.22 पाया गया। परंतु जब मुख्य भूकम्प के तीन वर्ष तक के बाद के भूकम्प लिए गए, तो इसका मान घटकर −1.01 रह गया। इसकी तुलना में मुजफराबाद भूकम्प से उतने ही समय में यह गुणांक कुछ अधिक −1.08 पाया गया।

(*x*) अंतरा प्लेट भुज भूकम्प के बाद के झटकों का क्षेत्रफल मुजफराबाद भूकम्प के बाद के झटकों से कम था।

(*xi*) तीव्र गति के आंकड़ों के आधार पर मुजफराबाद भूकम्प में त्वरण भुज भूकम्प की तुलना में एक ही दूरी पर अधिक था। इससे यह भी निष्कर्ष निकलता है कि उत्केंद्र के पास भुज भूकम्प में शीर्ष त्वरण मुजफराबाद भूकम्प की अपेक्षा कम था।

(*xii*) मुजफराबाद भूकम्प की विकिरण दक्षता (रेडिएशन एफिशियंसी) भुज भूकम्प की अपेक्षा दुगनी थी (सिंह व उनके सहयोगी, 2006)।

(*xiii*) मुजफराबाद क्षेत्र में बाद के भूकम्पों से भुज भूकम्प के बाद के भूकम्पों की अपेक्षा अधिक ऊर्जा निकली।

(*xiv*) मुजफराबाद तथा भुज भूकम्पों का फटन समय तरंग मोडलिंग द्वारा क्रमशः 25 सेकेंड तथा 15 सेकेंड पाया गया।

(*xv*) मुजफराबाद भूकम्प का औसत स्लिप 6 मीटर था जो भुज की अपेक्षा (5 मीटर) अधिक था।

18. चर्चा

अंतरा प्लेट और अंतर प्लेट भूकम्पों की तुलना चिली के सबडक्शन क्षेत्र में की गई है (लेयटोन व उनके सहयोगी, 2009)। इस क्षेत्र में अधिकतर विध्वंसक भूकम्प नानका और दक्षिण अमेरिकन प्लेटों के टकराने से होते है। इनसे स्पष्ट होता है कि यदि मोमेंट, अंतर तथा अंतरा क्षेत्रों के भूकम्पों में एक समान हो तब अंतर प्लेट भूकम्पों की कार्नर आवृत्ति और भूकम्पीय ऊर्जा अधिक होती है। इससे इंडियन प्लेट के अंतरा व अंतर भूकम्पों से विभिन्न परिणाम हैं जिनका विवरण पहले किया गया है। परंतु आभासी स्ट्रेस ड्राप में दोनों क्षेत्रों मे अंतर (अंतरा प्लेट 90 बार, अंतर प्लेट 30 बार) इंडियन प्लेट के समान पाए गए हु। अंतर प्लेट और अंतरा प्लेट के भूकम्पों के स्ट्रेस ड्राप में अंतर के कई कारण पाए गए हैं। शोल्ज तथा उनके सहयोगियों (1986) ने यह बताया कि यदि फिसलन यू (u) हो और फटन लम्बाई एल (L) हो, तब $u = \alpha L$ जहां α स्थिरांक है। अंतरा प्लेट भूकम्पों के लिए α की मात्रा 6×10^{-5} पाई गई जबकि अन्तर प्लेट में यह 1×10^{-5} था। अतः अंतरा प्लेट के भूकम्पों के प्रतिबल (स्ट्रेस ड्राप) अंतर प्लेट की अपेक्षा 6 गुना अधिक होंगे। दूसरे शब्दों में अंतराप्लेट भ्रंशों में घर्षण शक्ति अंतर प्लेट भ्रूंशों से अधिक होती है। परन्तु वास्तव में यह अंतर भारतीय क्षेत्र में दुगुना ही पाया गया जिससे स्पष्ट होता है कि यह विवर्तनी क्षेत्र पर निर्भर करता है।

अधिकतर भूवैज्ञानिक यही समझते हैं कि अंतरा प्लेट बड़े भूकम्पों की पुनर्रावृत्ति काल अंतर प्लेट से कहीं अधिक है। परंतु भुज 2001 भूकम्प से इसकी पुष्टि नहीं हुई क्योंकि 1819 से केवल 182 वर्षों बाद कच्छ क्षेत्र में लगभग उतना ही बड़ा भूकम्प आया। मुजफ्राबाद भूकम्प भी लगभग 255 वर्षों बाद हो गया। पुरा भूकम्प विज्ञान द्वारा अध्ययन करके राजेन्द्रन और राजेन्द्रन (2003) ने पता लगाया कि क्षेत्र के दोनों भूकम्पों से कई सौ वर्ष पूर्व इन क्षेत्रों में भूकम्प आए हैं। इसकी तुलना में अंतरा क्षेत्र मिसौरी (मध्य यूनाइटेड स्टेट्स) में 1811–1812 में तीन भूकम्प लगभग आठ परिमाण के आए थे। पुरा भूकम्पीय आंकड़ों के आधार पर वहां की पुनरावृत्ति काल लगभग 1000 वर्ष पाया गया। इतना स्पष्ट है कि घर्षण गुणांक अंतर प्लेट भ्रंशों में अंतरा प्लेट की अपेक्षा कम होता है और तन्य (डक्टाइल) भ्रंश क्षेत्र की श्यानता (विस्कोसिटी) पर निर्भर करती है जो पुनरावृत्ति काल पर प्रभाव डालते हैं। अतः भुज क्षेत्र में यद्यपि विवर्तनी क्रिया कच्छ रिफ्ट क्षेत्र में होने से भूकम्पजनित हैं, परंतु लगभग 200 वर्षों की पुनरावृत्ति काल के कारणों के लिए अधिक अनुसंधान की आवश्यकता है। हिमालय के क्षेत्र में 8 से 8.5 परिमाण भूकम्पों का पुनरावृत्ति काल 300 से 500 वर्ष का अनुमान है।

19. भूकम्प 2001 पूर्वानुमान दृष्टिकोण

भुज 2001 तथा मुजफराबाद 2005 भूकम्पों के पूर्वानुमान संबंधी कई अध्ययन किए हैं :

(*i*) भुज भूकम्प 2001 में केवल एक ही पूर्वकम्प लगभग एक महीने पहले रिकार्ड किया गया। इसके विपरीत मुजफराबाद भूकम्प 2005 से पहले जनवरी 2005 से 8 अक्टूबर 2005 तक 9 भूकम्प 3.3 से 4.8 परिमाण के रिकार्ड हुए (यू एस जी एस)। इस परिमाण के भूकम्प भारतीय क्षेत्र में होते रहते हैं, विशेषकर विवर्तनी क्षेत्र में, पर उनके बाद बड़ा भूकम्प होना आवश्यक नहीं है।

(*ii*) सराफ व चौधरी (2005) ने नोवा उपग्रह–ए. वी. एच. आर. आर. चैनेल के आधार पर भूकम्प से 12 दिन पहले से तापमान में असंगति 5 से 10° सें. पाई। सबसे अधिक तापमान में वृद्धि भूकम्प से तीन दिन पहले रिकार्ड किया। इस प्रकार के तापमान में परिवर्तन सिनाप्टिक सिस्टेम जैसे पश्चिमी विक्षोभ, चक्रवात, उष्मा तरंगों में होते ही रहते हैं। यदि हम उत्तर भारत में ग्रीष्म ऋतु के तापमान का अध्ययन करें तो ऊष्मा तरंगें कई दिन तक रहती है। अतः इस प्रकार के पृथ्वी के तापमान पर आधारित अध्ययन का भूकम्प पूर्वानुमान दृष्टिकोण से महत्व नहीं है।

(*iii*) दत्ता और गेरा (2011) ने सोडार के आधार पर वापी स्टेशन (गुजरात) पर वायुमंडलीय गुरुत्व तरंगों को भूकम्प से एक दिन पहले 25 जनवरी 2001 को रिकार्ड किया। इनकी आयाम 480 मीटर तथा तरंग काल 4 घंटे पाया गया। यह यंत्र ध्वनि तरंगों के वेग पर आधारित है जो वायुमंडलीय दाब, तापमान तथा वाष्पन पर निर्भर रहती है। वायुमंडलीय प्रभाव से पृथ्वी के नजदीक व्युतक्रम अथवा अन्य सिनिप्टक परिवर्तनों से सोडार की कार्य प्रणाली निर्भर रहती है। विवर्तनी कारणों से उनमें पूर्वानुमान संबंधी संकेत (यदि उत्पन्न भी हों) वायुमंडलीय परिवर्तनों के अधिक प्रभावों के कारण उपयोगी परिणाम नहीं निकाले जा सकते हैं।

(*iv*) सिहं और चौहान (2011) ने आयनमंडल के प्राचल एफ 0 एफ 2 के प्रेक्षण अहमदाबाद स्थित आयन सांड से यह निष्कर्ष निकाला कि इनका मान भुज भूकम्प से पहले कम हो गया। यह ध्यान देने योग्य बात है कि आयनमंडल के ऊपर सौर प्रज्वाल, चुंबकीय झंझावत, सूर्य धब्बे आदि का अधिक प्रभाव पड़ता है। अतः जब तक यह सुनिश्चित न हो जाता कि अन्य प्राचलों के प्रभाव को निकाल दिया गया है, इस युक्ति का उपयोग प्रश्नसूचक है।

(*v*) भुज भूकम्प के बाद वहां पर स्थाई अथवा अस्थाई प्रेक्षण जी पी एस द्वारा किए गए। इनसे निष्कर्ष निकला कि वहां क्षेतिज दिशा में बहुत ही कम विकृत वेग (0 से 30 मि.मी.) पाया गया। परंतु उर्द्धाधर दिशा में यह बढ़ कर लगभग 13 सेमी. पाया गया जो संशयपूर्ण है। हम जानते हैं कि सूक्ष्मतरंगों के वेग उद्धर्वाधर दिशा में अपवर्तनांक के परिवर्तन पर निर्भर करते हैं। परंतु विडम्बना यह है कि भारत में जी. पी. एस. के आंकड़े प्रयोग करने वाले वैज्ञानिक, कम्प्यूटर प्रोग्राम में दिए एक मानक रेडियो वायुमंडल पर आधारित मॉडल के आधार पर निकालते हैं। भारतीय क्षेत्र में वाष्पन विभिन्न स्थानों, समय व ऋतुओं में तथा सिनास्टिक सिस्टेम पर आधारित रहता है। सूक्ष्म विद्युत् चुंबकीय तरंगों अर्थात् माइक्रोवेव की गति वाष्पन की मात्रा पर आधारित रहती है जिसके कारण उसकी गति धीमी करके समय विलम्ब (टाइम डिले) उत्पन्न करती हैं। अतः भारतीय क्षेत्र के लिए निकाले रेडियो माडेलों जैसे एक्सपोनेन्श्यल अथवा बाई एक्सपानेन्श्यल माडेलों (श्रीवास्तव व पाठक, 1969, 1969) का प्रयोग करके ही उद्धर्वाधर विकृति के सही आंकड़े प्राप्त किए जा सकते हैं। भारतीय क्षेत्र के रेडियो वायुमंडल का प्रयोग न करके उद्धर्वाधर दिशा में जी पी एस द्वारा निकाले परिमाणों से वैज्ञानिकों को भ्रमित करना है।

20. निष्कर्ष

भुज (2001) तथा मुजफराबाद (2005) भूकम्प जिनका मोमेंट परिमाण एक समान, 7.6 था, परंतु उनके उत्केंद्र अंतरा प्लेट तथा अन्तर प्लेट में होने के कारण उनमें अंतर पाए गए। यह शोध पत्र इन भूकम्पों के पूर्वकम्प (24 अक्तूबर 2000) के स्पेक्ट्रा का बाद के भूकम्पों से तुलनात्मक पहला अध्ययन है। अंतरा प्लेट में उत्केंद्र अधिक गहराई में तथा अंतर प्लेट क्षेत्र में उत्केंद्र उथले अर्थात कम गहराई में (डिकोलमेंट परत) स्थित होने से अचल (स्टेटिक) स्ट्रेस ड्राप भुज क्षेत्र में कश्मीर क्षेत्र की तुलना में लगभग दुगुना था जो बड़े भूकम्पों के विवर्तनी क्षेत्रों में अंतर स्पष्ट करता है। परंतु महाद्वीप टकराव के क्षेत्र में महाद्वीप व महासागर प्लेट के टकराव (सबडक्शन क्षेत्र) की तुलना में काफी अधिक था। इन दोनों भूकम्पों में मुख्य अंतर मुजफराबाद भूकम्प में बाद के भूकम्पों के पांच परिमाण के बाद के भूकम्पों की अधिक संख्या, अधिक भूकम्पी ऊर्जा निष्कासन, अधिक अनुमानित शीर्ष त्वरण, अधिक प्रकीर्णन क्षमता, तथा h के मान में कमी (एक ही समय तक के आंकड़ों के आधार पर) पाए गए।

भूकम्प पूर्वानुमान संबंधी परिणामों की विवेचना करने पर स्पष्ट होता है कि अ–भूकम्पी प्राचलों के प्रयोग में विभिन्न प्रकार के वायुमंडलीय व अन्य प्रभावों के कारण वे उपयोगी नहीं हैं। भूकम्पी नमूने के आधार पर मुजफराबाद भूकम्प से पहले प्रतिबल की (स्ट्रेस) अक्ष लगभग 90° पूर्वकम्प में घूम गई तथा भूकम्परिक्त क्षेत्र भूकम्प से पहले डाइलेटेसी माडेल के अनुसार विकसित हुआ जैसा हिमालय के अन्य भूकम्पों में देखा गया है। पूर्वकम्प व बाद के भूकम्पों के स्पेक्ट्रा में विश्लेषण से कार्नर आवृत्ति में अंतर पाया गया परंतु यह सीमित आंकड़ों पर आधारित है। बाद के भूकम्पों के स्पेक्ट्रा द्वारा निकाले गए, श्रोत त्रिज्या तथा कार्नर आवृत्ति में परिमाण के साथ विलोम परिवर्तन पाया गया। उनके प्रतिबल (स्ट्रेस) ड्राप में उन स्थानों पर विभिन्न प्रकार की एस्पेरिटी के कारण परिवर्तन पाया गया।

संदर्भ

अग्रवाल, एस. के., साइराम, बी., कुमार, संतोष और रस्तोगी, बी. के., 2011, "फोर शाक कल्स्टरिंग एंड प्रिकरसरी पैटर्न फॉर दि कच्छ अर्थक्वेक इन गुजरात, इंडिया, इंटरनेशनल सिम्पोजियम ऑन 2001 भुज अर्थक्वेक एंड एडवांसेज इन अर्थक्वेक साइंस ए. ई. एस. (22–24 जनवरी)" 35 (एब्सट्रेक्ट) (46 एब्सट्रेक्ट), गाँधी नगर, गुजरात".

अम्ब्रेसिस, एन. एन. और डग्लस, जे, 2004, ''मेग्नीचूट केलीब्रेशन ऑफ नार्थ इंडियन अर्थक्वेकस'', *जीऑफीजीकल जरनल इंटरनेशनल,* **159**, 1, 165–206.

बेंडिंक, आर. और उनके सहयोगी, 2007, ''स्लिप आन ऐन एक्टिव वेज थ्रस्ट फाल्ट, जियोडेडिक आब्जर्वेशन आफ दि 8 अक्टूबर 2005 कश्मीर अर्थक्वेक, जियोलॉजी''.

बापट, अरुण., कुलकर्णी, के. सी., और गुहा, एस. के., 1983, ''कैटेलॉग ऑफ अर्थक्वेक्स इन इंडिया एंड नेबरहुड (अप टु 1979)'', *इंडियन सोसाइटी ऑफ अर्थक्वेक टेकनोलाजी* ,1–211.

भिस्त आर. एन., 2011, ''मेजर अर्थक्वेक अकरेंस इन आर्केलोजिकल स्ट्रेटा ऑफ हडप्पन''

भुज भूकम्प 2001 पर रिपोर्ट, भारत मौसम विज्ञान विभाग, 2002.

बिश्वास, एस. के., 1987, ''रीजनल टेक्टोनिक फ्रेमवर्क, स्ट्रक्चर एण्ड इवोल्यूशन ऑफ दी वेस्टर्न मार्जीनल बेसिनस ऑफ इंडिया'', *टेक्टोनोफीजीक्स,* **135**, 307–327.

ब्रून, जे. एन., 1970, ''टेक्टोनिक स्ट्रेस एण्ड द स्पेक्ट्रा ऑफ सीसमिक शीयर वेव्स फरोम अर्थक्वेकस'', *जे. जीयोफिस. रैस,* **75,** 26, 4997–5009 डी.ओ.आई. : 10.1029/जे.बी. 075 आई 026 पी.0 4997.

चन्द्रशेखर, डी. वी. और वर्गमान, आर., 2010, ''वीक मैंटिल लिथोस्पियर इन कच्छ'', इंडिया बाई. जी. पी. एस., ''इन्सार और ग्रेविटी मेजरमेन्ट्स फालोईंग दि 2001 ''भुज अर्थक्वेक, इंटरनेशनल सिम्पोजियम ऑन 2001 भुज अर्थक्वेक एंड एडवांसेज इन अर्थक्वेक साइंस ए. ई. एस. (22–24 जनवरी)'' 35 (एब्सट्रेक्ट) (46 एब्सट्रेक्ट).

चौधरी एच. एन. और श्रीवास्तव एच. एन. 1973, ''दि टाइम आफ अकरेंस एंड दि मैगनीट्युड आफ दि लार्जेस्ट आफ्टर शाक ओवर इंडिया'', *प्योर एंड एपलाइड जियोफिजिक्स,* **105**, 770–780

चौधरी, पल्बी और उनके सहयोगी, 2011, ''पोस्ट सीस्मिक डिफारमेशन असोशियेड विध दि 2001 भुज अर्थक्वेक, इंटरनेशनल सिम्पोजियम ऑन 2001 भुज अर्थक्वेक एंड एडवांसेज इन अर्थक्वेक साइंस एई एस (22–24 जनवरी)'' 35 (एब्सट्रेक्ट) (46 एब्सट्रेक्ट).

दत्तात्रेयम, आर. एस., काम्बले, वी. पी. और श्रीवास्तव, एच. एन., 1995, ''सौर्स करेक्टरस्टीक्स ऑफ सम फारसॉक्स एण्ड आफटरसॉक्स ऑफ 20 अक्तूबर, 1991 उत्तराकाशी अर्थक्वेक वीज–ए–वीज दी हिमालयन अर्थक्वेक'', *मेमोअरस – जीऑलोजीकल सोसाईटी ऑफ इंडिया,* 51–64.

ड्रेकोपुलस, जे. और श्रीवास्तव, एच. एन., 1972, ''दि डिपेंडेंस आफ अर्थक्वेक फ्रिक्वेंसी मैग्नीट्यूट रिलेशनशिप एंड स्ट्रेन एनर्जी रिलीज अपान दि फोकल डेप्थ इन हिन्दुकुश रिजन'', *अनाली दि जियोफिनिका,* **25,** 593–606.

दत्ता, एच. एन. और गेरा, बी. एस. 2011, ''एपलिकेशन ऑफ एकाउस्टिक साउंडिंग इन अर्थक्वेक प्रिकस्र डिटैक्शन लेसंस फ्राम भुज, इंडिया अर्थक्वेक, इंटरनेशनल सिम्पोजियम ऑन 2001 भुज अर्थक्वेक एंड एडवांसेज इन अर्थक्वेक साइंस एईएस (22–24 जनवरी)'', **35** (एब्सट्रेक्ट)

गुप्ता, हर्ष और उनके सहयोगी, 2005, ''एन अर्थक्वेक ऑफ एम. में अकर एट कोयना'', *करेंट साइंस,* **89,** 747–748.

हैक्स, टी. सी. और वाइस वी. एम. 1972, ''दि युडा आफ बाडी वेव स्पेक्ट्रा इन दि डेटरमिनेशन ऑफ सीस्मिक सोर्स पैरामीटस''[5], *बुलेटिन सीस्मोलोजिकल सोसाइटी आफ अमेरिका,* **62**, 561–589.

आयंगर, आर. एन., शर्मा, डी. और सिद्दीकी जे. एम., 1999, ''अर्थक्वेक हिस्ट्री आफ इंडिया इन मेडविल एज'', जर्नल हिस्ट्री, *साइंस,* **34** (3), 181–237.

लेयटोन, एफ, रुइज, जे, काम्पोस जे. आर. और काकसेल, ई., 2009, ''फिजिक्स ऑफ अर्थ एंड प्लेनेटरी इंटिलियर्स'', **175**, 37–46.

मलिक, जे. एन. और उनके सहयोगी, 2011, ''पोलियो अर्थक्वेक एविडेंस फ्राम आर्केलोजिकल साइट इन मीजोसीस्यल जोन ऑफ 1819 अल्लाह बंध इविंट, ग्रेट रन ऑफ, गुजरात, बेर्स्टन इंडिया (एस 16, आई जी. सी. पी. सी. 12), 120.

मंडल, पी. और दत्ता, यू. 2011, ''एस्टीमेशन ऑफ सोर्स पैरामीटर्स एंड साइट रेसपांस फ्राम मोशन नेटवर्क डेटा इन कच्छ सीस्मिक जोन, गुजरात, इंडिया, इंटरनेशनल सिम्पेजियम आन 2001 भुज अर्थक्वेक एंड एडवासेंस इन अर्थक्वेक साइस (22–24 जनवरी 2011)'', गांधीनगर, 21, ब्रून.

मौगी, कीयू. 1963, ''फेक्चर ऑफ सेमी फाइनाइट बॉडी कास्ड बाई इनर स्ट्रेस ओरीजन एण्ड इटस रीलेशन टू अर्थक्वेक फेनोमिना (2^{nd} पेपर) : दी केस ऑफ मेटिरियलस हेविंग सम हेटरोजीनिएस स्ट्रक्चरस, '' *अर्थक्वेक, रीसर्च इंस्टीटयूट (ई. आर.आई.)* यूनिवर्सिटी ऑफ टोकियो.

मोलनर, पी. और पांडे एम. आर., 1989, ''इंडियन एकेडेमी आफ साइम (अर्थ एंड प्लेनेटरी साइंस)'', 159, 165–186.

मोल्नर पी., 1987, ''*जर्नल जियोलोजिकल सोसाइटी ऑफ इंडिया*', **29**, 221.

मुकुल और उनके सहयोगी. 2010, क्रस्टल शार्टेनिंग इन कनवजेंट मार्जिन्स इन साइट्स फ्राम ग्लोबल पोजीशनिंग सिस्टेम (जी. पी. एस.), मेजरमेन्ट्स इन नार्थवेस्ट इंडिया, *जर्नल जियोलोजिकल सोसाइटी आफ इंडिया,* **75**, 289–299.

ओनाका, मीतीयासू, 1992, ''अर्थक्वेक सौर्स न्यूकलियेशन : ए फीजीकल मॉडल फॉर सोर्ट टर्म प्रीकर्सर'', *टेक्टोनोफीजीक्स,* **211**, 1–4, 149–178.

ओल्ढम, आर., डी., 1883, ''ए कैटलॉग आफ इंडियन अर्थक्वेकस फ्राम दि अर्लियेस्ट टु दि एंड ऑफ ए.डी. 1869'', *मेमायर जियोलॉजिकल सर्वे ऑफ इंडिया.*

पारसंस, टी., ईट्स, आर. एस. और यागी, वाई., 2006, ''स्टैटिक स्ट्रेस चेंज फ्रॉम दि 8 अक्टूबर 2005, M=7.6 काश्मीर अर्थक्वेक'', *जियोफिजिकल रिसर्च लेर्टस,* **33**, एल 06304.

प्रकाश, राजेश, श्रीवास्तव, एस. के., गुप्ता, एच. बी. और श्रीवास्तव, एच. एन., 2004, ''स्पेशियो टेम्पोरल सीस्मिटी वैरियेशन इन अर्थक्वेक ऑफ उत्तराखंड रीजन'', *मौसम,* **55**, 681–690.

राजेन्द्रन, सी. पी. और राजेन्द्रन, कुसाला, 2003, ''अर्थक्वेक रिकरेंस इन भुज, ई. ओस ट्राजेक्शन्स'', *अमेरिकन जियोफिजिकल यूनियन,* **84**, 48, 533–536.

रामचंद्रन, के. और श्रीवास्तव, एच. एन., 1991, ''न्यू कैटेलॉग ऑफ फेल्ट अर्थक्वेक ओवर इंडिया ड्यूरिंग 1901–1971'', *मौसम,* **42**, 171–187.

राव, डी. टी. और श्रीवास्तव, संजय, 1997, ''प्रेजेंट स्टेटस ऑफ सीस्मिसिटी ऑफ गुजरात'', *वायुमंडल* (**जनवरी–जून**), 32–39.

रेड्डी, सी. डी. और सुनील, पी. एस., 2007, ''पोस्ट सीस्मिक क्रस्टल डिफारमेशन एंड स्ट्रेन रेट इन भुज रीजन, वेस्र्टन इंडिया आफटर जनवरी 26 अर्थक्वेक'', *जियोफिजिकल जर्नल इंटरनेशनल*

सर्राफ, ए. के. और चौधरी, एस., 2005, ''नोवा ऐ वी आर आर सैटेलनाइट डिटेक्टस थर्मल एनोमेली ऐसोशिएटेड विंध 26 जनवरी 2001, भुज अर्थक्वेक, गुजरात, इंडिया'', *इंटरनेशनल जर्नल ऑफ रिमोट सेंसिंग,* **26**, 1065–1073.

शोल्ज, सी. एच., सविल्स, सी. ए. और वेस्नूस्की, एच. जी., ''1986, स्केलिंग डिफरेंसेस बिट्वीन लार्ज इंट्रा प्लेट और इंटर प्लेट अर्थक्वेक'', *बुलेटिन सीसमोलाजिकल सोसाइटी आफ अमेरिका,* **76**, 65–70.

स्कोल्ज, सी., स्काईस, एल. आर. और अग्रवाल, वाई. पी., 1973, ''अर्थक्वेक प्रीडीक्शन : ए. फीजीकल बेसिस'', *साइंस,* **181**(4102) 803–810.

सिंह एस. के., इगलेसियास ए., दत्तात्रेयम आर. एस., बंसल बी. के., राय एस. एस, पेरेज काम्पोस एक्स, सुरेश, जी, वैद्या, पी. आर. और गौतम, जे. एल., 2006, *करेंट साइंस,* **91**, 5, 689–695.

सिंह, ओ. पी. और चौहान, विशाल, 2011, ''एनेमोलस वेरियेशन ऑफ t_0f_2 ड्यूरिंग भुज अर्थक्वेक ऑफ 26 जनवरी 2001 एंड एसोसिएशन ऑफ जी पी एस बेस्ड टोटल इलेक्ट्रॉन कन्टेन्ट विध डिफरेंट सीस्मिक इविन्ट्स, इंटरनेशनल सिम्पोजियम ऑन 2001 भुज अर्थक्वेक एंड एडवांसेज इन अर्थक्वेक साइंस एईएस (22–24 जनवरी)'' 35 (एब्सट्रेक्ट).

सिंह, एस. के., पचेको, जे. एफ, बन्सल बी. के., पेरेज, काम्पोज एक्स, दत्तात्रेयम, आर. एस. और सुरेश, जी., 2004, ''ए सोर्स स्टडी ऑफ भुज, इंडिया, अर्थक्वेक ऑफ 26 जनवरी 2001 (एम 76)'', *बुलेटिन सीस्मोलोजिकल सोसाइटी ऑफ अमेरिका,* **94**, 1195–1206.

सिंह, आर. के., प्रकाश, राजेश, शुक्ला, ए. के., भटनागर, ए. के. और श्रीवास्तव, एच. एन., 2008, ''सेस्मीसीटी पैटर्न प्रोसीडींगस ग्रेट मुज्जफराबाद अर्थक्वेक ऑफ 8 अक्तूबर 2005'', *जरनल जीऑलोजी सोसाइटी ऑफ इंडिया,* **71,** 388–396.

श्रीवास्तव, एच. एन. और पाठक, आर. बी., 1969, ''एक्सपोनेन्शयल माडेल आफ रेडियो रिफ्रैक्टिव इडेक्स ओवर इंडिया'', *आई ई ई – आई ई आर ई प्रोसिडिंग्ज,* **7**, 2, 63–66.

श्रीवास्तव, एच. एन. और काम्बले, वी. पी. 1972, ''आफ्टर शाक कैरेक्टरिस्टिक्स इन हिमालयन माउंटेन बेल्ट एंड नेबरहुड'', *इंडियन जे. मेटेरियोलोजी एंड जियोफिजिक्स,* **23**, 75–82.

श्रीवास्तव, एच. एन. और रामचंद्रन, के., 1985, ''न्यू कैटेलॉग ऑफ अर्थक्वेक फॉर पेनिन्सुलर इंडिया ड्यूरिंग 1839–1900'', *मौसम,* **36,** 351–358

श्रीवास्तव, एच. एन. और दूबे, आर. के. और हंसराज, 1987, ''स्पेस एण्ड टाइम वेरिऐशन इन दी सीस्मीसीटी पैटर्नस प्रीसीडिंग टू अर्थक्वेक इन हिमाचल प्रदेश, इंडिया'', *टेक्टोनोफीजीक्स,* **138**, 1, 69–77.

श्रीवास्तव, एच. एन. और दूबे, आर. के., 1996, ''कंपेरीजन ऑफ प्रीकरसरी एण्ड नान–प्रीकरसरी एक्टीवीटी इन पेनिनसूलर इंडिया'', *टेक्टोनोफीजीक्स,* **265**, 327–339.

श्रीवास्तव, एच. एन., भट्टाचार्य, एस. एन. और गुप्ता, जी. डी., 2007, ''अर्थक्वेक : जियोग्रेफी एंड मैनेजमेंट, न्यू एज इंटरनेशनल, दरियागंज, नई दिल्ली''.

श्रीवास्तव, एच. एन., वर्मा, निथिला और बसंल, बी. के. 2010, ''सीस्मोलाजिकल कान्सट्रेंट्स फॉर दि 1905 कांगड़ा अर्थक्वेक एंड असोसियेटेड हेर्जड इन नार्थवेस्ट इंडिया'', *करेंट साइंस,* **99**, 11–22.

श्रीवास्तव, एच. एन., 2004, ''अर्थक्वेक फार कास्टिंग एंड मिटिगेशन'', नेशनल बुक ट्रस्ट, नई दिल्ली.

श्रीवास्तव, एच. एन., और पाठक, आर. बी., 1969, ''बाई एक्सपोनेनशियल मॉडल ऑफ रेफरक्टिव इन्डेक्स ओवर इंडिया'', *आई. जे. एम. एण्ड जी.,* **20**, 123.

टंडन ए. न. और श्रीवास्तव एच. एन., 1975, ''दि स्ट्रेस ड्राप एंड ऐवरेज डिस्लोकेशन ऑफ अर्थक्वेक इन दि इंडियन सब कंटिनेन्ट'', पेजयोफ, 112, 1051–1057

टंडन, ए. एन., 1975, ''सम टिपिकल अर्थक्वेक ऑफ नार्थ एंड वेस्ट उत्तर प्रदेश, बुलेटिन'', *इंडियन सोसाइटी ऑफ अर्थक्वेक टेक्नोलॉजी*', **12**, 74–88.

टंडन, ए. एन. और श्रीवास्तव, एच. एन., 1974, ''अर्थक्वेक अकरेंस इन इंडिया, अर्थक्वेक इंजिनियरिंग'', (जैकृष्णा वालूम) चैप्टर–1, सरिता प्रकाशन, मेरठ, 1–48.

टंडन, ए. एन. और श्रीवास्तव, एच. एन., 1975, ''फोकल मेकनिजम ऑफ रीसेंट हिमालयन अर्थक्वेक एंड रिजिनल प्लेट टेक्टानिकस'', *बुलेटिन, सीस्मोलोजिकल सोसाइटी ऑफ अमेरिका,* **65**, 963–969.

टंडन, ए. एन., श्रीवास्तव, एच. एन., गुप्ता, जी. डी. और बंसल, बी. के. 2001, ''इंटराप्लेट और इंटरप्लेट अर्थक्वेक, वीज–ए.–वीज भुज अर्थक्वेक 2001, वर्कशाप आन रीसेन्ट अर्थक्वेक ऑफ चमोली एण्ड भुज, मई 21–26'', *आई. आई. टी रूडकी,* **2**, 341–382.