

शोधंच्या कथा: ७

भूकंप

आयझॅक आसिमॉव्ह

अनुवाद: सुजाता गोडबोले

## १ परमेश्वर आणि हवा

सर्वात अचल आणि पक्की गोष्ट म्हणजे आपण ज्यावर उभे आहोत ती पृथ्वी असं आपण मानतो. आपण इकडे तिकडे फिरतो; वारा वाहतो; समुद्राला भरती ओहोटी येते; पण आपल्या पायाखालची जमीन मात्र भक्कम आणि जागच्या जागीच असते.

कायमची?

अधून मधून जगाच्या कुठल्यातरी भागात ती अचानकच हादरते, कंप पावते. जमिनीत भेगा पडतात. पाण्याचे आणि गॅसचे नळ फुटतात, विजेच्या तारा तुटतात. इमारती कोसळतात आणि त्यांच्याखाली सापडून लोक मरण पावतात. त्यानंतर सर्व काही पहिल्याप्रमाणे शांत होते.

पृथ्वी 'हलली' किंवा 'हादरली' म्हणजे त्याला आपण भूकंप झाला असे म्हणतो.

कधी कधी एखादा भूकंप समुद्रात होतो. मग वरचे पाणी हिंदकळून एक मोठी लाट तयार होते. ही लाट समुद्रातून प्रवास करून अखेर जमिनीपर्यंत पोचते.

कधी कधी ही लाट एखाद्या खाडीत किंवा बंदरात पोचते. जमिनीशी येताना तिची उंची अधिकाधिक वाढत जाते. किनाऱ्याशी येईपर्यंत ती एक उंचच्या उंच अशी पाण्याची भिंत बनून किनाऱ्यावर आदळते, आणि जे काही दूर, उंचावर जाऊ शकले नसेल, ते सर्व काही पाण्यात बुडते.

अशा प्रचंड लाटेला बऱ्याच वेळा 'टायडल वेव्ह' असंही म्हणतात पण तिचा भरती ओहोटीशी काहीच संबंध नसतो. जपानी भाषेतील एक नाव यासाठी अलीकडे वापरले जाते. अशा लाटेला आता 'त्सुनामी' असे म्हणतात, त्याचा शब्दशः अर्थ आहे, 'बंदरातील लाट'.

भूकंप किंवा त्सुनामी यांचा कालावधी फक्त पाच मिनिटे असू शकतो. पण ते अचानक, काहीही पूर्वसूचना न देता घडतात आणि दाट लोकवस्तीच्या भागातही असे होऊ शकते. त्या पाच मिनिटाच्या कालावधीत लाखो लोक मरण पावू शकतात. निसर्गाच्या इतर कोणत्याही उत्पातात लहानशा कालावधीत इतक्या मोठ्या प्रमाणात मनुष्यहानी होत नाही.

तसे पाहिले तर लोकांना पहिल्यापासूनच भूकंपाची माहिती आहे. पृथ्वीच्या उत्पत्तीपासून ते होतच आहेत आणि ज्या कोणाला भूकंप किंवा त्सुनामीचा अनुभव आहे ते तो कधीच विसरणार नाहीत.

परंतू लोकांना भूकंपाचे कारण मात्र माहित नव्हते.

पूर्वीच्या काळी, कोणत्या तरी देवाच्या कोपामुळे भूकंप होतो असे लोकांना वाटत असे. एवढी मोठी जमीन हादरवण्याएवढी ताकद दुसऱ्या कोणात असणार? ग्रीक लोक पोसायडन हा

समुद्राचा देव मानत असत, तोच भूकंपाचाही देव आहे असे त्यांना वाटे. त्याने रागाने आपला त्रिशूल हलवला की समुद्रात वादळे येतात आणि पृथ्वी कंप पावते. म्हणून ग्रीकांनी त्याला 'पृथ्वी हलवणारा' म्हणजे 'पोसायडन' असे नाव दिले.

काही प्राचीन लोकांना वाटे की हे जग कोणीतरी धरून ठेवले असणार, नाहीतर ते पडले असते. बहुधा एखाद्या मोठ्या देवाने किंवा राक्षसाने, नाहीतर एखाद्या प्रचंड प्राण्याने ते पेलले असेल अशी त्यांची कल्पना होती. अधून मधून पृथ्वी पेलणारा दमल्याने आपले ओझे एका खांद्यावरून दुसऱ्या खांद्यावर घेत असेल. आणि असे करताना भूकंप होत असेल.

काही लोकांच्या मते ही अग्निदेवाची करणी होती. ज्वालामुखींच्या प्रदेशात बरेच वेळा भूकंप होत असत. ज्वालामुखीतून धूर, ज्वाला आणि वितळलेल्या दगडांचा पूर येत असे, त्यामुळे याच्या तळाशी आग असावी असे लोकांना वाटणे चुकीचे नव्हते.

अग्निदेवता 'पेले' ही हवाई बेटावरच्या प्रचंड ज्वालामुखीत रहाते असा तिथल्या लोकांचा विश्वास होता. तिने रागाने आपले पाय आपटले की भूकंप होतो असे त्यांना वाटे.

देवांनी पराभव केलेले बरेचसे बंडखोर राक्षस ज्वालामुखीखाली डांबून ठेवले आहेत असे ग्रीक लोकांना वाटत असे. ते हलले आणि त्यांनी आपल्या साखळ्या तोडण्याचा प्रयत्न केला की पृथ्वी हादरते.

देवांशी संबंध नसलेले भूकंपाचे कारण शोधण्याचा प्रयत्न सर्वप्रथम अॅरिस्टॉटल या ग्रीक तत्ववेत्याने केला. ख्रिस्तपूर्व ३८४ ते ३२२ असा त्याचा जीवनकाल होता.

प्रत्येक पदार्थाची स्वतःची अशी एक नैसर्गिक जागा असते असा अॅरिस्टॉटलचा विश्वास होता. घट्ट जमीन ही सर्वात खाली असते आणि समुद्राचे पाणी त्याच्यावर, तर हवा ही जमीन आणि पाणी या दोन्हीच्या वर असते.

जर एखादा पदार्थ त्याला अनैसर्गिक असणाऱ्या जागेत अडकला तर तो आपल्या नैसर्गिक जागी येण्याचा प्रयत्न करेलच. म्हणून पृथ्वीशी निगडित असलेला जड पदार्थ हवेत नेऊन वर सोडून दिला तर पृथ्वीवर पडतो.

त्याचप्रमाणे हवा जर जमिनीखाली अडकली तर ती खचितच आपल्या नैसर्गिक जागी म्हणजे जमीन व पाण्याच्या वर येण्याचा प्रयत्न करेल. जमिनीखाली विवरात आणि गुहांमध्ये मोठ्या प्रमाणात हवा कोंडली गेली आहे असे अॅरिस्टॉटलचे मत होते. या हवेच्या बाहेर येण्याच्या प्रयत्नातून भूकंप होतो.

यासाठी काही पुरावा नव्हता, पण त्याकाळी हे खरे वाटले. अनेक शतकात कोणालाच याहून चांगली कल्पना सुचली नाही.

## २ लाटांचा शोध

भूकंप होतच होते, त्यात माणसे मरतच होती, पण त्याला कोणी काहीच करू शकत नव्हते.

२४ जानेवारी १९५६ ला चीनच्या शेन्सी प्रांतात भूकंप झाला आणि त्यात ८,३०,००० लोक मरण पावले असावेत असा अंदाज आहे. आतापर्यंत या भूकंपात सर्वाधिक मृत्यु झाले असावेत असा अंदाज आहे. ३० डिसेंबर १९०३ रोजी जपानमधील टोकियोत झालेल्या भूकंपात दोन लाख लोक मरण पावले तर ११ ऑक्टोबर १९३७ ला हिंदुस्थानात कलकत्ता इथे झालेल्या भूकंपात तीन लाख लोक मृत्युमुखी पडले.

त्या काळी पश्चिम युरोपात शास्त्रांमधे प्रगति होत होती, पण दूर कुठेतरी घडणाऱ्या घटनांकडे लक्ष देणे त्यांना महत्वाचे वाटत नव्हते.

पण १ नोव्हेंबर १९५५ रोजी युरोपातच एक मोठी दुर्घटना घडली. त्या दिवशी पोर्तुगालची राजधानी लिस्बन इथे आणि त्या जवळच्या समुद्रात मोठा भूकंप झाला.

शहरातील जवळ जवळ सर्व इमारती कोसळल्या आणि हजारो लोक त्यांच्याखाली गाडले गेले. त्यानंतर एक त्सुनामी लाट बंदरात आली. १५ मीटर उंचीची ही प्रचंड लाट या जमिनदोस्त झालेल्या शहरावर येऊन आदळली. भूकंपाचे आणखी दोन धक्के बसले आणि आगी लागल्या. समुद्राचे पाणी ओसरून जमीन हादरण्याची थांबेपर्यंत ६०,००० लोक मरण पावले होते.

लिस्बनला सर्वाधिक हाहाकार झाला होता पण पोर्तुगालमधे इतरत्रही नुकसान झाले होते. जिब्राल्टरच्या खाडीच्या दक्षिणेला मोरोक्कोमधेही हजारो लोक मरण पावले होते. दक्षिण युरोपमधे लाखो चौरस किलोमीटर क्षेत्रात आणि उत्तरेकडे स्कॉटलंडपर्यंत देखील हे धक्के जाणवले.

त्यानंतर मात्र युरोपमधे सर्व लोक भूकंपासंबंधी विचार करू लागले , आणि जमिनीखालील हवेचा अॅरिस्टॉटलचा सिद्धांत आता कोणाला समाधानकारक वाटेनासा झाला. शास्त्रज्ञांना १८व्या शतकात ऊर्जेसंबंधी आणि पृथ्वीच्या जडण घडणीविषयी पूर्वीपेक्षा अधिक माहिती होती,

त्यामुळे जमिनीखाली फारशी हवा नाही याची त्यांना खात्री होती. जरी थोडीफार हवा असली तरी त्यामुळे भूकंप होण्याएवढी ऊर्जा त्यात असणार नाही.

जॉन मिशेल या इंग्रज शास्त्रज्ञाने पृथ्वीच्या जडण घडणीचा अभ्यास केला. जमीन खणली असता, जे खडक दिसतात ते वेगवेगळ्या थरात मांडल्याप्रमाणे असतात असे अनेक लोकांप्रमाणेच त्याच्याही लक्षात आले होते. काही वेळा हे थर सरळ रेषेत असतात परंतू काही

वेळा ते उतरंडीप्रमाणे किंवा वक्र असतात. जणू काही पृथ्वीची निर्मिती होताना त्यात काही कारणाने बदल घडला असावा.

अशा तऱ्हेने हे थर वेडेवाकडे झाल्यामुळे त्यातील खडकांचे एकमेकांशी घर्षण होत असेल आणि ज्या ठिकाणी असे घर्षण होत असेल त्या ठिकाणापासून धक्के लाटांप्रमाणे पसरत असतील असे मत मिशेल यांनी १७६० साली मांडले. या लाटा म्हणजेच भूकंप असणार.

समुद्राच्या तळाशी झालेल्या भूकंपामुळेच त्सुनामी निर्माण होत असतील असे मिशेल यांनीच सर्वप्रथम वर्तविले. लिस्बन येथे असेच झाले असणार असेही त्यांनी सांगितले.

वेगवेगळ्या ठिकाणी भूकंप झाल्याच्या वेळेची जर नोंद करण्यात आली तर या कंपलहरी कोणत्या वेगाने प्रवास करतात याची देखील कल्पना करता येईल. त्यावरून गणिताच्या सहाय्याने त्यांची सुरवात कुठे झाली हे ही शोधून काढता येईल.

पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील ज्या ठिकाणी खडकांच्या घर्षणाने भूकंप होण्यास सुरवात झाली त्याला भूकंपाचा एपिसेंटर किंवा केंद्रबिंदू असे म्हणतात.

प्राचीन काळातील लोकांप्रमाणेच, बरेचसे भूकंप हे ज्वालामुखी असणाऱ्या प्रदेशात होतात असे मिशेल यांच्याही लक्षात आले, आणि उष्णता हा ऊर्जा मिळण्याचा एक महत्वाचा मार्ग आहे हे त्यांना माहित होते. ज्वालामुखीतील उष्णतेमुळे भूकंप होण्यासाठी आवश्यक ती ऊर्जा मिळत असावी असे त्यांना वाटले. जमिनीखाली पाणी असू शकेल (जमिनीखाली हवा असण्यापेक्षा पाणी असण्याची शक्यता अधिक असणार), आणि ज्वालामुखीच्या उष्णतेने ते तापून त्याची वाफ होत असेल. ही वाफ प्रसरण पावल्याने खडक हलवले जाऊन भूकंप होत असेल.

ॲरिस्टॉटलच्या कल्पनेपेक्षा यात बरीच सुधारणा होती. शास्त्रज्ञांना भूकंपाविषयी अधिक माहिती कशी मिळवता येईल? मिशेल यांनी वर्तविलेल्या भूकंपाच्या लहरींचा अभ्यास करता येईल का?

मोठा भूकंप होत असताना त्या ठिकाणी जाऊन त्याचा अभ्यास करणे अर्थातच शक्य होणार नाही. १ नोव्हेंबर १७५५ ला लिस्बनला जर कोणी असा भूकंपाचा अभ्यास करत असते, तर तो अभ्यास सुरू झाल्यापासून पहिल्या पाच मिनीटातच त्याचे मरण ओढवले असते.

भूकंप लहरी जशा पसरत जातात तशा त्या क्षीण होत जातात आणि शास्त्रज्ञ एखाद्या मोठ्या भूकंपाचाही ३० किलोमीटर अंतरावरून सुरक्षितपणे अभ्यास करू शकतात.

शिवाय, प्रत्येक मोठ्या भूकंपानंतर, केवळ खिडक्या आणि भांडी हादरवतील अशा प्रकारचे बरेच मध्यम स्वरुपाचे धक्केही जाणवतात. लक्षातही येणार नाहीत अशा प्रकारचे अनेक लहान भूकंपही होतच असतात.

असे लहान मोठे धक्के दूरवरही समजावेत यासाठी काही करता येईल का?

लिस्बनच्या मोठ्या भूकंपानंतर जवळ जवळ शंभर वर्षांनंतर, म्हणजे १८५५ साली असे उपकरण तयार करण्यात आले. लुइगी पाल्मेरी या इटालियन शास्त्रज्ञाने अशा उपकरणाचा शोध लावला.

पाल्मेरीच्या उपकरणात दोन्ही टोके वर वळविलेली व अर्धाअधिक पारा भरलेली एक क्षितिजसमांतर नळी वापरण्यात आली. जमिनीला धक्का बसला की पारा हले. धक्का जितका जोराचा तितका पारा एका टोकापासून दुसऱ्या टोकापर्यंत वर वळवलेल्या भागांमधे अधिक हले.

पाल्मेरीने वर वळवलेल्या दोन्ही बाजूंना पाऱ्यावर तरंगतील असे छोटे लोखंडी तुकडे ठेवले आणि त्यांच्या मागे शाई भरलेले पेन बसविले. पारा हलताना लोखंडी तुकड्यांची किती हालचाल झाली हे त्याला पाहता येई.

हे पहिले भूकंपमापन यंत्र होय. इंग्रजीत याला 'सेस्मोमीटर' असे म्हणतात. 'भूकंप मोजणे' या अर्थाच्या ग्रीक शब्दावरून हा शब्द बनला आहे.

पण पाल्मेरीचे हे भूकंपमापन यंत्र अतिसंवेदनशील होते. जवळ जवळ कशानेही या यंत्रात सूक्ष्म कंपने दिसून येत. त्यामुळे दूरवर भूकंप झाला आहे की जवळच्या रस्त्यावरून एखादी बैलगाडी गेली हे सांगणे कठीण होत असे.

१८८० साली जॉन मिल्न या इंग्रज शास्त्रज्ञाने याहून चांगले उपकरण बनविले.

१८७५ साली जॉन मिल्न जपानमधील टोकियो इथे इंपीरीयल कॉलेज ऑफ इंजिनियरिंग या ठिकाणी भूगर्भशास्त्र आणि खाणी या विषयांच्या अध्यापनासाठी गेले. जपानमध्ये नेहमीच भूकंप होत असतात, त्यांचा अभ्यास करण्याची या निमित्ताने त्यांना उत्तम संधी मिळाली. अखेर १८८० साली त्यांनी बनवलेल्या उपकरणामुळे भूकंपांचा बारकाईने अभ्यास करणे शक्य झाले. त्याचे कार्य पुढीलप्रमाणे होते:

सरळ उभ्या केलेल्या एका खांबाला, एक जड नळकांडे धातूच्या एका क्षितिजसमांतर दांड्याने बांधले आहे अशी कल्पना करा. नळकांड्यापासून त्याला पेलणाऱ्या खांबापर्यंत एक तार जोडली आहे. दांडा ज्या ठिकाणी खांबाला जोडला आहे त्या ठिकाणी एक चल सांधा आहे त्यामुळे नळकांडे सहजपणे फिरू शकते.

तारेने जोडले असल्याने नळकांडे खाली पडत नाही आणि गुरुत्वाकर्षणामुळे ते वर ही जात नाही. आता हे नळकांडे फक्त क्षितिजसमांतर रेषेत डावीकडे आणि उजवीकडेच फिरू शकते. याला जर इतर कसले धक्के बसले नाहीत तर ते न हलता स्थिर रहाते.

हे सर्व ज्यावर बसवले आहे त्या कट्ट्याचा पाया जमिनीखालच्या खडकांत खोलवर गेलेला आहे.

समजा आता भूकंप होत आहे. पायाचे दगड आता पुढे मागे हलतील, त्यामुळे खांबही हलेल. नळकांडे त्याला घट्ट जोडलेले असल्याने तेही पुढे मागे हलेल. पण ते तसे हलत नाही. कारण ते एका चल सांध्याने जोडले असल्याने ते स्थिरच रहाते. पाया आणि जोडणी जरी हलली तरी नळकांडे मात्र स्थिरच रहाते.

नंतर त्या नळकांड्याला एक पेन जोडले आहे अशी कल्पना करा. दुसऱ्या एका संध गतीने फिरणाऱ्या कागद लावलेल्या नळकांड्याला या पेनचा फक्त स्पर्श होतो. हे फिरणारे दुसरे नळकांडेही त्या कट्ट्यावरच बसवले आहे.

जर जमिन पूर्णतया स्थिर असेल तर त्या फिरणाऱ्या नळकांड्यावरील कागदावर पेनने एक सरळ रेषा काढली जाईल. जर भूकंप झाला आणि पाया हलला तर फिरणारे नळकांडे देखील पुढे मागे हलेल. मग न हलणाऱ्या पहिल्या नळकांड्याला जोडलेल्या पेनची रेषा पुढे मागे हलून वेडीवाकडी येईल. जमिन आणि हलणारे नळकांडे जितके अधिक हलेल, तितकी या वेड्यावाकड्या रेषेची व्याप्ती अधिक असेल.

या उपकरणाला 'सेस्मोग्राफ' असे म्हणतात. 'भूकंपाचा आलेख' या अर्थाच्या ग्रीक शब्दावरून हा शब्द बनला आहे कारण भूकंपाच्या अस्तित्वाचा आणि क्षमतेचा पेनमुळे आलेखच काढला जातो.

अर्थात, कागदावर रेघ काढताना थोडेफार घर्षण किंवा कंप होतोच. म्हणून पृथ्वीतील सूक्ष्म हालचाल समजणे जरा कठिण होते.

म्हणून आजकाल साध्या कागदाऐवजी प्रकाशसंवेदनक्षम असा फोटोचा कागद वापरतात, आणि नळकांड्यावर एक छोटासा आरसा लावतात. आरशावरून एक लहानसा प्रकाशकिरण फोटोच्या कागदावर परावर्तित केला जातो. अशा तऱ्हेने रेषा काढली जाऊ शकते व त्यातून शाईच्या पेनने कळणार नाहीत अशा सूक्ष्म लहरी देखील समजून येतात.

जॉन मिलनने जपानमध्ये आणि इतरत्रही अनेक ठिकाणी अशी भूकंपाचे आलेखन करणारी यंत्रे बसवली. १९०० सालापर्यंत अशी १३ यंत्रे कार्यरत होती. आता जगातील प्रत्येक खंडात, अगदी अंटार्क्टिकातसुद्धा, अशी शेकडो आलेखन यंत्रे आहेत.

### ३ पृथ्वीचे अंतरंग

शास्त्रज्ञांनी जेव्हा भूकंपांच्या आलेखांचा काळजीपूर्वक अभ्यास सुरू केला, त्यावेळी निरनिराळ्या प्रकारच्या भूकंपलहरी त्यांच्या लक्षात आल्या. काही लहरी त्यांच्या प्रवाहाच्या दोन्ही बाजूंना कंप निर्माण करत तर काही कंप हे त्यांच्या प्रवाहाच्या दिशेनेच पसरत असत. काही लहरी पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरून प्रवास करत, तर काही पृथ्वीच्या अंतरंगातून येत.

वेगवेगळ्या लहरींच्या प्रवासाची गतीही वेगवेगळी असे. याचाच अर्थ, भूकंपाच्या दूरवरच्या केंद्रबिंदूपासून येणाऱ्या वेगवेगळ्या प्रकारच्या लहरी भूकंप आलेखन यंत्रावर वेगवेगळ्या वेळी पोचतील. शास्त्रज्ञ एका प्रकारच्या लहरींची वेळ नोंदवतील, त्यानंतर दुसऱ्या प्रकारच्या, मग तिसऱ्या प्रकारच्या, अशा तऱ्हेने हे काम चालू राहील.

केंद्रबिंदू जितका दूर तितकाच वेगळ्या प्रकारच्या लहरी येण्यामधील कालावधी अधिक. या कालावधीतील फरक किती आहे यावरून भूकंप आलेखन यंत्राशी असणाऱ्याला भूकंपाचा केंद्रबिंदू किती अंतरावर आहे हे सांगता येते.

मात्र या लहरी कोणत्या दिशेकडून येत आहेत हे मात्र सांगता येत नसे. जर हा केंद्रबिंदू ५०० किलोमीटर अंतरावर असेल, तर तो आलेखन यंत्र केंद्रस्थानी मानून काढलेल्या ५०० किलोमीटर त्रिज्येच्या वर्तुळावर कुठेही असू शकेल.

समजा एकमेकांपासून बऱ्याच अंतरावर अशी तीन वेगळी आलेखन यंत्रे आहेत. भूकंपाचा केंद्रबिंदू पहिल्या यंत्रापासून ८०० किलोमीटरवर, दुसऱ्यापासून १२०० किलोमीटरवर आणि तिसऱ्यापासून १६०० किलोमीटरवर आहे. नकाशावर जर प्रत्येक आलेखनयंत्रापासून या मापाची वर्तुळे काढली, तर तिन्ही वर्तुळे एका ठिकाणी एकमेकांना छेद देतील, हा बिंदू म्हणजे भूकंपाचा केंद्रबिंदू होय.



आजकाल, एका भूकंप आलेखनयंत्राजवळचे तंत्रज्ञ इतर ठिकाणांशी रेडियोद्वारे सहज संपर्क साधू शकतात. त्यामुळे जगात कुठेही भूकंप झाला तर तो अनेक आलेखन यंत्रांवर दिसतो आणि शास्त्रज्ञ त्या भूकंपाचा केंद्रबिंदू कुठे आहे हे ताबडतोब सांगू शकतात.

आलेखातील रेषा मध्यबिंदूपासून दोन्हीकडे किती प्रमाणात झुकली यावरून त्याठिकाणच्या भूकंपलहरी काय क्षमतेच्या आहेत हे आलेखनावरून समजू शकते. एकदा आपले स्थान भूकंपाच्या केंद्रबिंदूपासून किती अंतरावर आहे हे समजले की त्यावरून केंद्रबिंदूशी या लहरींची तीव्रता किती आहे हे गणिताने मांडून, भूकंपाची तीव्रता किती आहे हे ही सांगता येते.

१९३५ साली चार्ल्स फ्रॅन्सिस रिश्टर या अमेरिकन शास्त्रज्ञाने भूकंपाची तीव्रता मोजण्यासाठी १ या आकड्यापासून सुरू होणारी एक मापन पद्धती विकसित केली. यालाच 'रिश्टर स्केल' असे म्हणतात.

रिश्टर स्केलवर १ क्षमतेचा भूकंप असेल तर त्यात १७० ग्रॅम टीएनटी च्या स्फोटामुळे जेवढी ऊर्जा उत्पन्न होईल, तेवढी ऊर्जा असते. यामुळे निर्माण होणाऱ्या लहरी इतक्या सूक्ष्म असतात की त्या फक्त भूकंपआलेखन यंत्राद्वारेच समजू शकतात. रिश्टर स्केलवर २ क्षमतेचा भूकंप यापेक्षा ३१ पटीने अधिक तीव्र असतो. दरवेळी रिश्टर स्केलवर एक आकडा वाढला की त्याची क्षमता आधीच्या आकड्यापेक्षा ३१ पटीने अधिक असते.

रिश्टर स्केलवर ९ या आकड्यापर्यंत पोचल्यास त्या भूकंपाची तीव्रता २०० दशलक्ष टन टीएनटी च्या स्फोटाइतकी झालेली असते.

आतापर्यंत कोणताच भूकंप रिश्टर स्केलवर ९ पर्यंत पोचलेला नाही. अर्थात, ८ या तीव्रतेचा भूकंप ही अतिशयच मोठा असतो. १९०६ साली सॅन फ्रॅन्सिस्को उध्वस्त करणारा भूकंप रिश्टर स्केलवर ८.२५ क्षमतेचा असावा असं मानलं जातं. १९६४ साली अलास्कातील अँक्क्रेज इथे झालेला भूकंप रिश्टर स्केलवर ८.५ असा नोंदला गेला. काही भूकंप ८.९ पर्यंत असावेत असा अंदाज करण्यात आला आहे.

अर्थात असे प्रचंड भूकंप खूपच कमी वेळा होतात. पृथ्वीवर दरवर्षी सामान्यतः दहा लाख भूकंप कुठे ना कुठे होत असतात, त्यापैकी बहुतेक सर्व लहानच असतात. सर्वसाधारणपणे दरवर्षी एखादाच भूकंप रिश्टर स्केलवर ८ किंवा त्याहून अधिक मोठा असतो. अर्थात काही वर्षे अपवादात्मकरित्या अधिक वाईट असू शकतात. १९०६ साली झालेले सात भूकंप बहुधा ८ पेक्षा मोठे होते असा अंदाज आहे.

एखाद्या तुरळक लोकवस्तीच्या प्रदेशात मोठा भूकंप झाला तर त्यामुळे फारसे नुकसान होत नाही, तेच दाट लोकवस्तीच्या शहरात त्यामानाने कमी तीव्रतेच्या भूकंपानेही बरीच अधिक

हानी होऊ शकते. तसेच पक्क्या इमारतींच्या शहरात कच्च्या इमारतींच्या शहराच्या मानाने कमी नुकसान होऊ शकते. केवळ रिश्टर स्केलच्या आधारेने एखादा भूकंप किती धोकादायक आहे किंवा त्यात किती मनुष्यहानी होईल हे ठरवता येत नाही.

पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरून प्रवास करणाऱ्या भूकंपलहरी (सरफेस वेव्हज) आपल्याला बरीच उपयुक्त माहिती देतात. 'बॉडी वेव्हज' म्हणजे पृथ्वीवरील एका बिंदूपासून पृथ्वीच्या आरपार जाऊन पृष्ठभागावरील दुसऱ्या बिंदूपर्यंत प्रवास करणाऱ्या लहरी, त्या तर आणखीच कुतुहलजनक असतात.

पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरून खोल अंतरंगात जाऊन परत पृष्ठभागावर येणाऱ्या या पहिल्याच लहरी आहेत. पृथ्वीच्या अंतरंगाविषयी, आपल्याला एरवी कधीच मिळू शकणार नाही, अशी माहिती त्यांच्यामुळे मिळते.

१९०९ साली एका शास्त्रज्ञाने या प्रश्नाचा अभ्यास सुरू केला. ऑस्ट्रिया-हंगेरी इथल्या आता युगोस्लाव्हियात असणाऱ्या एका ठिकाणी त्याचा जन्म झाला. अँड्रिया मोहोरोविचिक असे त्याचे नाव होते.

या आरपार जाणाऱ्या लहरी (बॉडी वेव्हज) जेव्हा पृथ्वीत जास्त खोलवर जात नाहीत तेव्हा त्या पृष्ठभागावरील लहरींच्या तुलनेत कमी गतीने प्रवास करतात. त्या जितक्या खोलवर जातील तितक्या अधिक गतीने प्रवास करतात. त्या जर पुरेशा खोल गेल्या तर त्या पृष्ठभागावरील लहरींइतक्याच किंवा त्याहूनही अधिक गतीने प्रवास करतात.

पृथ्वीत खोलवर असणारे खडक हे त्यांच्याही वर असलेल्या थरातील खडकांच्या वजनाने एकमेकांना चिकटून अधिक घन झालेले असतात हे यामागील कारण आहे. पृथ्वीच्या अंतरंगातील एकाच क्षेत्रफळाच्या खडकांचे वजन हे पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील त्याच क्षेत्रफळाच्या खडकांहून अधिक भरते. खडक जितका अधिक खोलीवर असेल, तितकी त्याची घनता अधिक असते.

सामान्यतः एकाच प्रकारच्या परंतू अधिक घन पदार्थातून लहरी अधिक वेगाने प्रवास करतात. मोहोरोविचिकने भूकंपाच्या केंद्रबिंदूपासून अधिकाधिक अंतरावर घेतलेल्या भूकंपांच्या आलेखांचा अभ्यास केला. केंद्रबिंदूपासून जवळ असलेल्या ठिकाणच्या आलेखात या आरपार जाणाऱ्या लहरी या पृष्ठभागावरील लहरींच्या नंतर येतात असे त्याला दिसून आले. परंतू केंद्रबिंदूपासून अधिकाधिक दूरवरच्या भूकंप आलेखन केंद्रापर्यंत पोचण्यासाठी या लहरींना पृथ्वीच्या पोटात खोलवर जावे लागते, आणि त्यांचा वेगही वाढतो. अखेर, एखादे भूकंप आलेखन यंत्र भूकंपाच्या केंद्रबिंदूपासून बऱ्याच अंतरावर असेल, तर या लहरी पृष्ठभागावरून

येणान्या लहरींच्या आधीच पोचतात कारण पृष्ठभागावरून येणान्या लहरींना पृथ्वीच्या वक्र पृष्ठभागावरून बराच लांबचा प्रवास करावा लागतो.

या आरपार जाऊन येणान्या लहरींच्या वेगावरून शास्त्रज्ञ पृथ्वीच्या वेगवेगळ्या ठिकाणच्या अंतरंगातील खडकांची घनता गणिताने ठरवू शकतात. जसजशी खोली वाढत जाते तसतशी ही घनताही नियमितपणे वाढत जाते.

केंद्रबिंदूपासून काही विशिष्ट अंतरावर मात्र या लहरी अनपेक्षितरित्या लवकर आल्या, कारण त्या अशा खोलीवर पोचल्या होत्या की तिथून त्यांचा वेग नेहमीपेक्षा अचानक वाढला होता.

पृथ्वीच्या पृष्ठभागाखाली एका विशिष्ट खोलीवर घनतेत अचानक खूप वाढ होते, जणू काही या लहरींनी निराळ्याच प्रकारच्या, पहिल्यापेक्षा बरीच अधिक घनता असणाऱ्या द्रव्यात प्रवेश केला असावा, असे मोहोरोविचिकच्या लक्षात आले.

अशा प्रकारे पदार्थाच्या गुणधर्मात अचानक होणाऱ्या बदलाला 'डिस्कंटिन्युइटी' असे म्हणतात. तिचा शोध लावणाऱ्या शास्त्रज्ञांच्या सन्मानार्थ, या विशिष्ट डिस्कंटिन्युइटीला 'मोहोरोविचिक डिस्कंटिन्युइटी' किंवा 'मोहोरोविचिक पातळी अथवा सीमा' असे नाव देण्यात आले.

ही 'मोहोरोविचिक पातळी' पृथ्वीत सर्वत्र आढळते आणि ती पृष्ठभागाखाली ६ ते ३५ किलोमीटर दरम्यान कुठेही असू शकते. महासागरांपेक्षा भूखंडांखाली ती अधिक खोलीवर असते.

पृथ्वीच्या मोहोरोविचिक सीमेच्या वरच्या भागाला पृथ्वीचे कवच किंवा इंग्रजीत 'क्रस्ट' असे म्हणतात. त्याखालील भागाला मध्यकवच किंवा प्रावरण (मॅन्टल) म्हणतात. भूकंपलहरींद्वारेच आपल्याला मध्यकवचाची माहिती मिळाली, आणि त्यावरून आपण त्यातील खडक कशा प्रकारचे असतील याचा गणिताद्वारे अंदाज बांधू शकतो. कदाचित, भविष्यात कधीतरी शास्त्रज्ञ पृथ्वीच्या कवचाला भोक पाडून त्यातून मध्यकवचातील खडक अभ्यासासाठी आपूणही शकतील.

बेनो गुटेन्बर्ग या जर्मन शास्त्रज्ञाने काही नवीनच शोध लावला. कालांतराने अमेरिकेला जाऊन तो अमेरिकन नागरीक बनला.

१९१३ साली गुटेन्बर्गने पृथ्वीच्या केंद्रभागाजवळून आरपार जाणाऱ्या भूकंपलहरींचा अभ्यास केला. या लहरी जेव्हा एका विशिष्ट खोलीवर पोचतात तेव्हा त्यांचा वेग बदलतो, इतकेच नव्हे तर त्यांची दिशा देखील अचानक बदलू शकते असे त्याने दाखवून दिले. पृथ्वीच्या पृष्ठभागाखाली २,९०० किलोमीटर अंतरावर ही आणखी एक पातळी (डिस्कंटिन्युइटी) आहे. तिला 'गुटेन्बर्ग सीमा अगर पातळी' असे म्हणतात.

मोहोरोविचिक सीमेपासून ते गुटेन्बर्ग सीमेच्या दरम्यानचा भाग म्हणजे 'मॅन्टल' म्हणजेच मध्यकवच. गुटेन्बर्ग पातळी पासून ते पृथ्वीच्या केंद्रबिंदूपर्यंतच्या भागाला गाभा किंवा 'कोअर' असे म्हणतात.

याचाच अर्थ पृथ्वीची घडण बरीचशी एखाद्या अंड्यासारखी आहे. मधला गाभा हा अंड्याच्या बलकाप्रमाणे आहे. त्याच्याभोवती असलेले मॅन्टल हे अंड्यातील पांढऱ्या भागाप्रमाणे आहे आणि या सर्वावर असलेले कवच हे अंड्याच्या कवचाप्रमाणेच आहे.

पृथ्वीत जितके खोलवर जावे तसतसे तापमान वाढत जाते. गुटेन्बर्ग पातळीपाशी ते सुमारे ३,११० अंश इतके होते. मध्यकवच जरी घट्ट असले तरी ते खूप गरम आहे.

गाभा तर याहूनही गरम आहे.

आरपार जाणाऱ्या लहरी या दोन प्रकारच्या असतात. यापैकी एका प्रकारच्या लहरी पुढे-मागे जातात आणि त्यांना 'अनुतरंग' किंवा 'प्राथमिक लहरी' (लॉजिट्युडिनल वेव्हज) असे म्हणतात. डावी- उजवीकडे जाणाऱ्या दुसऱ्या प्रकारच्या लहरींना 'अवतरंग' अथवा 'द्वितीयक लहरी' (ट्रान्सव्हर्स वेव्हज) असे नाव आहे.

जेव्हा एखादी प्राथमिक लहर गुटेन्बर्ग पातळी पाशी पोचते, तेव्हा तिची दिशा बदलते पण प्रवास मात्र चालूच रहातो. याउलट, 'अवतरंग' किंवा द्वितीयक लहर मात्र गुटेन्बर्ग सीमेपाशीच थांबते.

अनुतरंग द्वय पदार्थातूनही प्रवास करू शकतो आणि अवतरंग मात्र द्रवातून जाऊ शकत नाही हे शास्त्रज्ञांना माहित होते.

यावरून शास्त्रज्ञांनी असे अनुमान काढले की पृथ्वीचा गाभा द्रवरूप असला पाहिजे कारण अवतरंग यातून प्रवास करू शकत नाही. हा गाभा द्रवरूप असूनही खूप दाट असल्याने तो खडकांऐवजी धातूचा असावा. लोखंड हा सर्वत्र सहज आढळणारा दाट असा धातू आहे. म्हणून पृथ्वीचा गाभा म्हणजे द्रवरूप लोखंड असावे आणि त्यात लोखंडासारखाच असणारा दुसरा धातू म्हणजे निकेल, थोड्या प्रमाणात असावे असे बहुतेक शास्त्रज्ञांचे मत आहे.

भूकंपांमुळे आपल्याला पृथ्वीच्या अंतरंगासंबंधी, अगदी केंद्रबिंदूपर्यंतची, माहिती मिळाली. इतर कोणत्याही मार्गाने अशी माहिती आपल्याला नक्कीच मिळाली नसती.

## ४ आकुंचन आणि संचार

भूकंपामुळे जरी पृथ्वीच्या अंतरंगासंबंधी माहिती मिळाली तरीही भूकंप कशामुळे होत असावेत याबद्दल काहीच समजले नाही.

ज्या ठिकाणी खडकांमध्ये मोठे तडे किंवा भेगा आढळतात त्या ठिकाणी भूकंप होतात असे लोकांच्या लक्षात येऊ लागले. ज्या ठिकाणी दोन्ही बाजूंकडील जमीन एकसारखी दिसत नाही अशा लांबच लांब रेषा आढळत. त्यांना प्रस्तरभंग किंवा भूभ्रंश (फॉल्ट) असे म्हणतात.

अमेरिकेतील, पश्चिम कॅलिफोर्नियातील 'सॅन अँड्रियाज फॉल्ट' हा प्रस्तरभंग तर जगप्रसिद्धच आहे. १९०६ साली या ठिकाणी झालेल्या भूकंपात सॅन फ्रॅन्सिस्कोला मोठेच नुकसान झाले होते.

भूकंप झाल्यावर प्रस्तरभंगाच्या एका बाजूचे स्थलांतर झालेले दिसते. एक बाजू ३ ते ६ मीटर पुढे किंवा/आणि वर उचलली जाऊ शकते. दुसरी बाजू तेवढीच मागे किंवा/आणि खाली ढकलली जाऊ शकते.

यावरून मिशेलचे अनुमान योग्य होते असेच दिसू लागले. भूभ्रंशाच्या एका बाजूचे खडक दुसऱ्या बाजूच्या खडकांच्या तुलनेत सरकतात, त्यांचे घर्षण होते आणि त्यामुळे धक्के बसून जमीन हादरते. ही हालचाल मोठ्या प्रमाणावर होऊन प्रचंड प्रमाणात घर्षण झाले तर त्यामुळे खूप मोठा भूकंप होतो.

पण ही हालचाल कशामुळे होते?

पृथ्वीच्या अंतरंगात किती ऊष्णता आहे हे शास्त्रज्ञांच्या लक्षात आल्यावर, पृथ्वी आता थंड होऊ लागली असण्याची शक्यता निर्माण झाली. कदाचित निर्माण होताना पृथ्वी अतिशय गरम

असेल आणि तेव्हापासूनच ती थंड होऊ लागली असेल. ती जशी थंड झाली तशी ती आकुंचन पावली असणार आणि त्यामुळे तिच्या कवचाला सुरकुत्या पडून पर्वत तयार झाले असणार. हे अत्यंत संध गतीने होत असणार, पण तरीही पर्वत निर्माण होत असताना खडकांच्या एका भागाचे दुसऱ्या भागाशी घर्षण होऊन त्यामुळे भूकंप होत असणार.

हा सिद्धांत फार काळ टिकला नाही. १८९० साली, युरेनियम आणि थोरियम सारख्या काही मूलतत्वांचे अणू हळू हळू फुटत आहेत असा शास्त्रज्ञांना शोध लागला. प्रत्येक वेळी यातून ऊष्णता निर्माण होते. एक अणू फुटला तर थोडीशीच ऊष्णता बाहेर पडते, पण पृथ्वीत सर्वत्र असे कोट्यावधी अणू दर सेकंदाला फुटत आहेत. या सर्व अणूंमधून बाहेर पडलेल्या ऊष्णतेमुळे पृथ्वीचे अंतरंग थंड होत नाही. याचा अर्थ पृथ्वी आकुंचनही पावत नाही आणि तिच्यावर सुरकुत्याही पडत नाहीत; म्हणजे भूकंप या कारणाने होत नाहीत.

भूखंडांच्या आकारावरून आणखी एक सिद्धांत मांडण्यात आला.

तुम्ही जर जगाच्या नकाशाकडे पाहिलेत तर दक्षिण अमेरिकेचा पूर्व किनारा आणि आफ्रिका खंडाचा पश्चिम किनारा यांचे आकार एकसारखे वाटतात. ही दोन्ही खंडे जर एकत्र आणली, तर एखाद्या तुकडे जुळवून करण्याच्या कोड्यासारखी एकमेकात चपखल बसतील.

फ्रॅन्सिस बेकन या इंग्रज संशोधकाच्या हे १६२० सालीच लक्षात आलं होतं.

दक्षिण अमेरिका आणि आफ्रिका हे कधीकाळी एकाच भूखंडात असतील का? काही कारणाने हा भूखंड तुटून त्याचे हे दोन भाग एकमेकांपासून वेगळे होऊन लांब गेले असतील का?

आल्फ्रेड लोथर वेग्नर या जर्मन शास्त्रज्ञाला अगदी असेच वाटले.

लक्षावधी वर्षांपूर्वी सर्व भूखंडे एकत्रच असावीत असे त्याने १९१२ साली सुचविले. या मोठ्या भूखंडाला त्याने 'पॅन्जिया' असे नाव सुचविले, या ग्रीक शब्दाचा अर्थ आहे, 'संबंध पृथ्वी'.

पॅन्जियाचे तुकडे झाले आणि हे भूखंड हळू हळू एकमेकांपासून दुरावले.

सर्व खंडे ही मुख्यतः ग्रनाइट या एकाच प्रकारच्या खडकांची बनली आहेत असेही त्याने निदर्शनास आणले. महासागरांचे तळ मात्र बेसाल्ट या अधिक घन खडकांचे आहेत आणि भूखंडांच्या ग्रनाइटखाली देखील हाच खडक आढळतो.

अधिक घन पदार्थावर त्यामानाने हलक्या वस्तू तरंगू शकतात, जसे पाण्यावर लाकूड. ग्रनाइटची भूखंडे संबंध जग व्यापणाऱ्या बेसाल्टच्या थरावर तरंगतात असे वेग्नरचे म्हणणे होते. अर्थात ही खंडे अतिशय संधपणे, म्हणजे वर्षाला २५ सेंटीमीटरहूनही कमी, अशा दराने एकमेकांपासून दूर गेली असावीत कारण बेसाल्ट पाण्यापेक्षा खूपच कठिण आहे.

अमेरिका खंडे अजूनही पश्चिमेकडे सरकत आहेत असे वेझरचे मत होते. सर्वात पश्चिमेकडचा भाग बेसाल्टमधून ढकलला जाऊन आणि त्यामुळे सुरकुत्या पडत, हळू हळू नव्या पर्वतराशी-उत्तर अमेरिकेत रॉकी पर्वत, आणि दक्षिण अमेरिकेत अँडिज पर्वत- निर्माण करत आहे .

अर्थातच या सुरकुत्या पडण्याच्या प्रक्रियेत खडक प्रचंड प्रमाणात एकमेकांवर घासले जातात आणि त्यामुळे भूकंप होतात.

वेझरची 'कॉन्टिनेंटल ड्रिफ्ट' किंवा तरत्या भूखंडांची कल्पना लक्षवेधी होती. कालांतराने, यानुसार अनेक गोष्टींचे स्पष्टीकरण देता येईल असे शास्त्रज्ञांच्या लक्षात आले. निरनिराळ्या खंडांतील खडकांचे स्वरूप, ही सर्व खंडे पूर्वी एकत्रच असावीत असे दर्शवितात. लक्षावधी वर्षांपूर्वी अस्तित्वात असलेल्या वनस्पती आणि प्राणी पाहता, आता जरी हे भूखंड एकमेकांपासून बरेच दूर असले तरी, त्या काळी एका खंडावरून दुसऱ्यावर जाणे अगदीच सुलभ असावे असेच भासते.

वेझरचा सिद्धांत मान्य झाला नाही. ग्रनाइटची खंडे त्याखालच्या बेसाल्टवर तरंगणार नाहीत ही यातील खरी अडचण होती. ती वर्षाला एका सेंटीमीटरचा लहानसा अंश देखील सरकणार नाहीत. बेसाल्ट इतका कडक आणि कठिण असतो की खंडे जागच्या जागीच रहातील आणि कधीच हलणार नाहीत.

म्हणून, वेझरने तरत्या भूखंडांची कल्पना मांडल्यापासून जवळ जवळ ५० वर्षांपर्यंत शास्त्रज्ञांनी त्याकडे फारसे लक्ष दिले नाही.

## ५ तरते भूस्तर

महासागरांच्या तळामधून एक महत्वाची माहिती हाती आली.

विसाव्या शतकाच्या सुरवातीपर्यंत सागराचा तळ कसा आहे याबद्दल काहीच माहिती नव्हती. पाण्याखाली केवळ काही मीटरहून अधिक खोलीवर जाऊन काही पाहता येत नसे.

एखाद्या लांब साखळीला वजन बांधून ती जहाजावरून खाली सोडणे यापलीकडे फारसे काही करता येत नव्हते. ते वजन तळ गाठेपर्यंत साखळी सोडत राहून त्यावरून त्या विशिष्ट ठिकाणी समुद्राची खोली किती आहे हे मोजता येत असे. हे सोपे नव्हते. त्यामुळे केवळ काही ठिकाणचीच अशी मापे घेतली गेली.

उदाहरणार्थ, १८५० च्या दशकात अॅटलांटिक महासागरात बऱ्याच ठिकाणी अशी मोजमापे घेण्यात आली. त्या काळी उत्तर अमेरिका आणि युरोपच्या दरम्यान तारेने संदेश पाठवून संपर्क साधता यावा म्हणून सागरतळातून केबल म्हणजे तारा घालण्याच्या प्रयत्नात काही लोक होते.

त्यावेळी जी खोली मोजण्यात आली त्यावरून असे दिसले की अॅटलांटिक महासागराची खोली दोन्ही टोकांना अधिक आहे, तेवढी ती मध्यभागी नाही. मध्यभागी जणू एक ऊंच पठार होते, त्याला 'टेलिग्राफ पठार' असेच नाव देण्यात आले.



पहिल्या महायुद्धाच्या काळात पॉल लॉन्जवॅन् या फ्रेंच शास्त्रज्ञाने, पाण्यातून जाऊ शकतील अशा एका विशिष्ट प्रकारच्या ध्वनिलहरी शोधून काढल्या, त्या जेव्हा एखाद्या घन वस्तूवर आदळत, तेव्हा तिथून त्या परत येत. जर हा प्रतिध्वनि मिळाला आणि तो मिळण्याचा कालावधी मोजता आली तर, त्या लहरी ज्या दिशेने घन वस्तूवर आदळून परत आल्या असतील त्या दिशेच्या त्या वस्तूचे अंतरही गणिताच्या सहाय्याने काढता येई.

शत्रुच्या पाणबुड्या शोधता याव्यात यासाठी त्याला हा शोध लावायचा होता, पण त्यापूर्वीच युद्ध संपले. युद्धानंतर या शोधाचा म्हणजे 'सोनार'चा उपयोग समुद्राच्या तळाकडून या लहरी परावर्तित करण्यासाठी केला जाऊ लागला. या तऱ्हेने महासागरातील अनेक ठिकाणची खोली चटकन मोजता येऊ लागली.

१९२२ साली 'मिटीयर' नावाच्या जर्मन जहाजाने अशा ध्वनिलहरींच्या म्हणजे सोनार उपकरणाच्या सहाय्याने अॅटलांटिक महासागराची खोली मोजायला सुरुवात केली.

शास्त्रज्ञांच्या असं लक्षात आलं की अॅटलांटिक महासागरातील पठार हे सपाट नसून बरेच उंचसखल आहे. खरे तर, अॅटलांटिक महासागराच्या मध्य भागातून आर्टिक ते अॅन्टार्टिक पर्यंत एक प्रचंड पर्वतराशी पसरली आहे असेही त्यांनी दाखवून दिले.

त्यानंतरच्या काही वर्षांत अशी पर्वतराशी केवळ अॅटलांटिकमधेच आहे, असे नाही, असाही शोध लागला. आफ्रिकेच्या दक्षिण भागाकडून हिंदी महासागराच्या मध्यापर्यंत ती पसरलेली आहे, तशीच ती प्रशांत महासागरात देखील आहे.

महासागरातील पर्वत राशी किंवा 'मिड-ओशियानिक रेंज' असे नाव तिला देण्यात आले.

समुद्रतळाची खोली मोजण्याच्या तंत्रात सुधारणा होतच राहिली. विल्यम मॉरिस युर्विंग या अमेरिकन शास्त्रज्ञाच्या नेतृत्वाखाली शास्त्रज्ञांच्या एका चमूने १९५० साली याच्या तपशिलवार नोंदी केल्या.

१९५३ साली, या 'मिड-ओशियानिक रेंज'च्या मध्यावर एक खूप खोल दरी आहे असे युर्विंगने जाहीर केले. तिला 'ग्रेट ग्लोबल रिफ्ट' असे नाव देण्यात आले.

या दरीमुळे पृथ्वीच्या कवचाचे अनेक घन तुकडे असल्याचे दर्शवले जाते आणि त्या तुकड्यांना भूस्तर किंवा कवच खंड (प्लेट) असे म्हणतात. यापैकी काही भूस्तर अवाढव्य आहेत.

प्रशांत महासागराच्या किनाऱ्याशी या दरीचा काही भाग येतो. प्रशांत महासागराच्या पश्चिमेला ही दरी आशिया खंडातील बेटांच्या रेषेत येते. उत्तरेकडे ती अॅल्युशियन बेटांच्या बरोबर जाताना दिसते. पूर्वेला ती उत्तर अमेरिकेच्या पश्चिम किनाऱ्याला समांतर असलेली दिसते,

म्हणजे खरे पाहता, ती अमेरिकेतील कॅलिफोर्निया या राज्याच्या पश्चिम सीमेपार जाते. सॅन अँड्रियाचा प्रस्तरभंग हा प्रशांत महासागराभोवती असलेल्या या दरीचाच एक भाग आहे.

म्हणजे पॅसिफिक भूस्तर (प्लेट) हा बहुतांशी प्रशांत महासागराखालीच आहे. उत्तर अमेरिकेच्या भूस्तराचा दक्षिणभाग म्हणजेच दक्षिण अमेरिकेचा भूस्तर, अँटलांटिक महासागराच्या मध्यापर्यंत त्याचा विस्तार आहे.

अँटलांटिक महासागराच्या मध्यापलीकडे, दरीच्या दुसऱ्या बाजूला, उत्तरेकडे युरेशियन भूस्तर तर दक्षिणेकडे आफ्रिकन भूस्तर आहे. या दोहोंना विभागणारी भेग भूमध्य सागर आणि अरबी समुद्रातून जाते. आफ्रिका भूस्तराच्या पूर्वेला ऑस्ट्रेलियन भूस्तर, तर दक्षिणेला अँटार्क्टिक भूस्तर आहे.

या आठ मोठ्या भूस्तरांखेरीज इतरही काही लहान भूस्तर आहेत. उदाहरणार्थ, दक्षिण अमेरिकेच्या पश्चिमेला असणारा नाइका भूस्तर.

भूकंप आलेखन यंत्रांमुळे शस्त्रज्ञांना कुठेही झालेले भूकंप समजू शकतात. बहुतेक सर्व भूकंप या भूस्तरांना भेगा असणाऱ्या ठिकाणीच होतात असे आढळून आले आहे.

हे भूस्तर सरकत असतात आणि ते एकमेकांवर घासले जाऊन भूकंप होतात.

हे भूस्तर हलण्याचे कारण काय असावे?

१९६२ साली, हॅरी हॅमंड हेस या अमेरिकन शास्त्रज्ञाने असे सुचविले की पृथ्वीच्या मध्यकवचाचा (मॅन्टल) काही भाग अँटलांटिक महासागराच्या मध्य भागातील 'ग्रेट ग्लोबल रिफ्ट'ला पडलेल्या भेगांमधून समुद्रतळाकडे सरकत असावा. हा बाहेर पडलेला भाग वर येऊन समुद्राच्या तळावर पसरत असून त्याची रुंदी वाढत असणार. त्यामुळे उत्तर अमेरिकन प्लेट आणि युरेशियन प्लेट दूर ढकलल्या जात असणार.

वेग्नरने म्हंटल्याप्रमाणे, उत्तर अमेरिका आणि युरोप एकमेकांपासून दूर जात आहेतच. मात्र ही खंडे तरंगत असल्यामुळे हे होत नाही. हीच वेग्नरची चूक होती.

सर्व खंडे या भूस्तरांवर चांगली जखडलेली आहेत, आणि हे भूस्तर खंडांसकट एकमेकांपासून दूर ढकलले जात आहेत.

समुद्रतळ रुंदावत जात असण्याची संकल्पना खरी असल्याचे दिसते. अँटलांटिक महासागराचा तळ हा इतर सर्व खंडांपेक्षा वयाने तरुण असल्याचे शास्त्रज्ञांनी शोधून काढले आहे. जितके मध्यभागाकडे जावे तितका तो अधिक नवा आहे.

म्हणजे कोट्यावधी वर्षांपूर्वी पॅन्जिया खरोखरच अस्तित्वात असणार तर. याचे निरनिराळे भाग निरनिराळ्या भूस्तरांवर होते आणि त्यादरम्यान लांबच लांब प्रस्तरभंग होते.

मध्यकवचामधून बाहेर पडणाऱ्या द्रव्यामुळे या भेगा रूंद होत गेल्या आणि पॅन्जियाचे भाग एकमेकांपासून दूर होत गेले व मधल्या भागात समुद्रांची निर्मिती झाली.

कदाचित आणखी कोट्यावधी वर्षांनंतर या सरकणाऱ्या भूस्तरांमुळे एक नवीन पॅन्जिया तयार होईल आणि कालावधीने तो परत मोडला जाईल, आणि ही प्रक्रिया परत परत होत राहील.

वेगवेगळ्या भूस्तरांनी सर्व पृथ्वी व्यापली आहे. याचा अर्थ असा होतो की जर काही ठिकाणी हे भूस्तर एकमेकांना दूर ढकलत असतील, तर इतरत्र कुठेतरी ते एकमेकांजवळही येत असणार. दोन भूस्तर जर संधगतीने जवळ येत असतील, तर ते एकमेकांना भेटतात त्या ठिकाणी त्यावर घड्या पडतात आणि त्यातूनच नव्या पर्वतराशी उत्पन्न होतात.

अॅटलांटिक महासागर रुंदावत जात असल्याने उत्तर अमेरिकेचा भूस्तर पॅसिफिक भूस्तरावर ढकलला जात आहे आणि याच क्रियेमुळे उत्तर अमेरिकेच्या पश्चिम किनाऱ्यावर पर्वतराशी तयार झाल्या आहेत.

जर दोन भूस्तर थोड्या अधिक गतीने एकमेकांजवळ सरकले तर एक भूस्तर दुसरीच्या खाली जातो. खाली गेलेला भूस्तर हळू हळू मध्यकवचात घसरतो आणि वितळून जातो.

ज्या ठिकाणी भूस्तर दूर जातात किंवा जवळ ढकलले जातात त्या ठिकाणी ज्वालामुखी निर्माण होतात, बेटे समुद्राच्या वर येतात आणि समुद्राचा तळ खाली ओढला जाऊन मोठे चर तयार होतात. हे चर म्हणजे समुद्रतळाचा अतिशय खोल भाग. भूस्तराचा शोध लागल्यापासून पृथ्वीसंबंधी अनेक महत्वाच्या बाबींचा आपल्याला उलगडा होऊ लागला आहे. यापूर्वी हे शक्य नव्हते.

पृथ्वीचे कवच ज्या प्रकारे वळते किंवा वाकते त्याच्या अभ्यासाला 'टेक्टॉनिक्स' असे म्हणतात. पृथ्वीच्या कवचातील मोठ्या भूस्तराच्या हालचालीच्या अभ्यासाला शास्त्रज्ञ आता 'प्लेट टेक्टॉनिक्स' अथवा भूस्तराचा अभ्यास असे म्हणतात.

भूकंप का होतात हे भूस्तरांच्या अभ्यासामुळेच आपल्याला समजू शकले. पृथ्वीच्या मध्यकवचातील गरम द्रव्यात अत्यंत संधगतीने प्रवास करणारे प्रवाह असावेत असे शास्त्रज्ञांना वाटते. पृथ्वीच्या स्वतःभोवती फिरण्याच्या क्रियेमुळे ते उत्पन्न झाले असावेत. प्रवाहांमुळे हे भूस्तर एकमेकांकडे खेचले जातात किंवा एकमेकांपासून दूर ढकलले जातात.

ज्या ठिकाणी हे भूस्तर दूर खेचले जातात तिथे मध्यकवचातील द्रव्य वर ढकलले जाते. ज्या ठिकाणी भूस्तर एकमेकांकडे ढकलले जातात तिथे घड्या पडतात किंवा कवच अंतर्भागात ढकलले जाते.

ज्या ठिकाणी गरम पदार्थ बाहेर पडतात, किंवा जिथे थंड द्रव्य आत जाते अगर त्याला घड्या पडतात, त्या ठिकाणी खडकांवर खडक घासले जाऊन, घर्षणाने भूकंप होतात.

अर्थात् भूकंप काही सतत होत नसतात. भूस्तर जसे दूर खेचले जातात किंवा जवळ ओढले जातात, तसे भूस्तराच्या एका भागातील खडक शेजारच्या भूस्तरावरील खडकाच्या एका बाजूला, वर किंवा खाली ढकलले जातात. पण दोन्ही बाजूंच्या दबावाने ते त्याच ठिकाणी रोखले जातात.

खडकांवरचा दबाव अशा तऱ्हेने वाढतच जातो, आणि अखेर ते कोसळतात. खडकांचा एक भाग अचानक घसरतो, परत चिकटतो, परत घसरतो आणि असे होतच रहाते. दरवेळी घसरण झाली की भूकंप होतो. घसरण्याच्या दोन क्रियांच्या दरम्यान तो जितका अधिक काळ चिकटलेला राहिल, तितका त्यावरील दबाव वाढत जातो, मग त्याचा अखेरचा धक्काही अचानक आलेला आणि मोठा असतो म्हणून त्यामुळे होणारा भूकंपही मोठा असतो.

## ६ आपण काय करणार?

१९७० च्या दशकाच्या मध्यात अनेक मोठे भूकंप झाले. २७ जुलै १९७६ रोजी चीनची राजधानी बीजिंगच्या दक्षिणेकडील एक संपूर्ण शहर भूकंपाने उध्वस्त झाले आणि सुमारे ६,५०,००० लोक मरण पावले. जवळ जवळ ४०० वर्षांतला हा सर्वात भयानक भूकंप होता. ग्वाटेमाला, मेक्सिको, इटली, फिलिपीन्स, रोमानिया आणि तुर्कस्थान मध्येही असेच मोठे भूकंप झाले.

परिस्थिती अधिक बिघडते आहे का? मनुष्यप्राणी पृथ्वीला त्रास होईल असे काही करत आहे का?

बहुधा तसे नसावे. पूर्वीपेक्षा आताची परिस्थिती काही फार वेगळी नाही. आता भूकंप आपल्या अधिक लक्षात येतात इतकेच.

विसाव्या शतकात रेडियो आणि टेलिव्हिजनचा शोध लागला, त्यामुळे अशा विध्वंसाच्या बातम्या आपल्याला लगेच कळतात. एकोणिसाव्या शतकात, आशियातल्या एखाद्या दूरच्या ठिकाणी भूकंप झाला, तर युरोप किंवा अमेरिकेतल्या लोकांना ते समजले देखील नसते. आता जगभर सगळीकडे भूकंप आलेखन यंत्रांचे जाळे आहे त्यामुळे कुठेही झालेला भूकंप ताबडतोब समजतो आणि त्याचे निश्चित स्थानही लगेच कळते. वर्तमानपत्रांचे वार्ताहर आणि टेलिव्हिजनचे कॅमेरे यांच्याद्वारे ही माहिती सगळीकडे पोचते.

शिवाय, आता आपल्याला बाहेरच्या जगात घडणाऱ्या घटनांमध्ये अधिक रस आहे. एकोणिसाव्या शतकात, जगाच्या कुठल्यातरी कोपऱ्यात भूकंप झाल्याची बातमी अमेरिकेत किंवा युरोपमध्ये समजली असती तरी कोणी त्याकडे फारसे लक्ष दिले नसते. पण आता बरेच लोक जगभर प्रवास करतात, आणि दूरवरची शहरे आता इतकी दूरही वाटत नाहीत. दूरवरचा भूकंपही आता महत्वाचा वाटतो आणि आपण त्याकडे अधिक लक्ष देतो.

पृथ्वीची लोकसंख्या एकोणिसाव्या शतकाच्या मानाने जवळ जवळ तिपटीने वाढली आहे आणि अनेक शहरांची लोकसंख्या तिपटीहूनही बऱ्याच अधिक प्रमाणात वाढली आहे. उदाहरणार्थ, अमेरिकेतल्या लॉस एंजेलिस या शहरात १९०० च्या सुमारास जवळ जवळ १,००,००० लोक रहात असत, पण आता तिथे सुमारे तीन दशलक्ष लोक रहातात.

आता पूर्वीच्या मानाने खूप अधिक इमारती आहेत आणि त्या अधिक मोठ्या आणि महाग आहेत. आज अस्तित्वात असलेले सर्व कारखाने, धरणे, विद्युत प्रकल्प, विमानतळ, तेलवाहिन्या या सर्वांचा विचार तर करून घ्या. वस्तुतः १९०० सालाच्या सुमाराच्या मानाने आता कितीतरी अधिक गोष्टी उभारण्यात आल्या आहेत.

याचाच अर्थ, एका विशिष्ट क्षमतेचा भूकंप जर एका विशिष्ट जागी शतकापूर्वी झाला असता आणि त्याच ठिकाणी तेवढ्याच क्षमतेचा भूकंप आज झाल्यास त्यात मनुष्यहानी आणि वित्तहानी कितीतरी अधिक होईल.

या सर्व कारणांमुळे अलीकडल्या काळात भूकंप अधिक संहारक झाले आहेत असे आपल्याला वाटते. खरे म्हणजे पृथ्वी आता काही पूर्वीपेक्षा जास्त डगमगत नाही.

हा धोका कमी करण्याचा काही मार्ग आहे का?

ज्या ठिकाणी भूकंप होण्याची शक्यता अधिक आहे अशा ठिकाणी रहाणे आपण टाळू शकतो. पण यापैकी काही ठिकाणे एरवी रहाण्यासाठी फार छान आहेत आणि लोकांना तिथे राहायला आवडते.

जर भूकंपप्रवण प्रदेशातच रहायचे असेल, तर इमारती अशा तऱ्हेने बांधल्या जाव्यात की भूकंप झाला तरी त्या फक्त डोलतील, पण कोसळणार नाहीत. इमारतींच्या कोसळण्यामुळेच सर्वात जास्त मनुष्यहानी होते. अर्थात अशा इमारती बांधणे हे मोठे खर्चाचे काम आहे.

भूकंप केव्हा होणार आहे हे जर आपल्याला आधी समजू शकले तर लोक आपल्या घरातून बाहेर तरी पडू शकतील किंवा त्या भागातून दूर निघून जाऊ शकतील. म्हणजे जरी इतर नुकसान झाले तरी निदान जीव तर वाचेल.

भूकंपाची पूर्वसूचना कशी मिळणार?

भूकंपापूर्वी काही बदल घडतात असे पाहण्यात आले आहे. उदाहरणार्थ, प्रस्तरभंगाच्या ठिकाणी जमिनीला फुगवटा येतो.

सूक्ष्म कंप जाणवतात. खडक थोडेफार दूर ओढले गेल्यामुळे त्यांच्यात अधिक पाणी जिरते. किंवा, जमिनीच्या आत असलेले पाणी अचानक बाहेर येऊ लागते.

यामुळे विहिरीच्या पाण्याच्या पातळीत फरक पडतो, किंवा माती आणि वाळू पाण्यात मिसळले गेल्याने पाण्याच्या गढूळपणात वाढ होते.

एरवी खडकात बंदिस्त असणारे काही वायु बाहेर पडल्याचे लक्षात येते. जमिनीतून ज्या प्रकारे विद्युतप्रवाह जातो, त्यात फरक होतो किंवा, खडकांच्या नैसर्गिक चुंबकीय शक्तीत फरक होतो.

परंतू या बदलांमुळे, भूकंप होणार आहे, किंवा झालाच तर तो किती क्षमतेचा असेल, तो किती वाजता होईल, किंवा त्याचा केंद्रबिंदू कुठे असेल यासंबंधी निश्चितपणे काहीच सांगता येत नाही. कदाचित आपल्या याविषयीच्या ज्ञानात जशी भर पडेल, नव्या उपकरणांचा शोध लागेल, त्यानुसार आपले अंदाज अधिक अचूक बनतील.

कदाचित उपकरणांची गरजच पडणार नाही. भूकंपापूर्वी प्राणी फार अस्वस्थ होतात असे लोकांनी नोंदवले आहे. घोडे अचानक उधळून धावू लागतात, कुत्री रडू लागतात, मासे उड्या मारतात. साप, उंदीर यांच्यासारखे एरवी बिळात लपणारे प्राणी अचानक बाहेर पडतात. प्राणीसंग्रहालयातील चिंपांझी अस्वस्थ होऊन अधिक वेळ जमिनीवर रहातात.

प्राण्यांच्या संवेदना माणसांपेक्षा अधिक तीव्र असतात हे एक कारण असू शकेल. त्यांची निसर्गाशी अधिक जवळीक असते आणि आजुबाजूच्या लहान सहान बदलांकडे त्यांचे जास्त लक्ष असते. खडक घसरण्याच्या तयारीत असतानाची जमिनीची सूक्ष्म कंपने आणि आवाज त्यांना समजत असतील.

चीनमध्ये युरोपेक्षा अधिक वेळा भूकंप होतात आणि त्यात नुकसानही अधिक होते, शिवाय त्यांची लोकसंख्याही अधिक आहे. तिथे लोकांना आजुबाजूच्या गोष्टींकडे बारकाईने लक्ष

देण्यास प्रोत्साहन दिले जाते. प्राण्यांची विचित्र वागणूक, जमिनीतून येणारे वेगळे आवाज, विहिरींच्या पाण्याच्या पातळीत होणारे बदल, इतकेच काय पण भितीच्या रंगांचे पापुद्रे यांची देखील दखल घेतली जाते.

हे सर्व बदल पाहून भूकंप होणार आहे , की हे बदल दुसऱ्याच कोणत्या कारणाने होत आहेत हे सांगणे कठीण आहे ही यातली खरी अडचण आहे.

गांधीलमाशी चावली म्हणून एखादा घोडा एकदम उधळू शकतो, डोंगरावरची दरड घरंगळून जमिनीवर पडली तर वेगळा आवाज येऊ शकतो वगैरे वगैरे... याउलट काही भूकंप इतके अचानक होतात की त्यांची काहीच पूर्वसूचना नसते.

काही भूकंप ते वर्तवू शकले असा चीनचा दावा आहे. ईशान्य चीनमध्ये ४ फेब्रुवारी १९७५ रोजी ७.३ रिक्टर क्षमतेचा भूकंप झाला, तो त्यांनी अगोदर वर्तवला होता. लोकांनी त्या भागातून स्थलांतर केल्याने अनेक जीव वाचले. याउलट, २७ जुलै १९७६ च्या याहूनही मोठ्या भूकंपाची कोणतीच पूर्वसूचना नव्हती आणि एक संपूर्ण शहर नामशेष झाले.

अर्थात अशी परीक्षा पहाण्यात काहीच अर्थ नाही. भूकंप होणार आहे अशी थोडीशीही शंका आल्यास लोकांनी स्थलांतर करणेच बरे. भूकंप जर झालाच नाही तर परत जाता येईलच.

पण हे तसे त्रासदायकच आहे. एखादेवेळी भूकंप होऊ शकेल एवढ्याच कारणासाठी घरदार सोडणे लोकांना नको असते. उद्योगधंदा बुडतो आणि सर्वांचेच आर्थिक नुकसान होते. शिवाय बहुतेक लोक त्या भागातून निघून गेल्यावर काही जण मागे रहातील आणि रिकाम्या इमारतींमधून सामान सुमान लुटून नेतील ही भीतीही आहेच. एखाद्या मोठ्या शहराचे स्थलांतर करण्यात एखाद्या लहान भूकंपाइतका त्रास आणि खर्च होईल तो निराळा.

जर २-४ वेळा लोकांनी स्थलांतर केले, त्यासाठी बराच त्रास सहन केला, आर्थिक नुकसान सोसले, आणि ही हूलच होती असे ठरले तर ते चांगलेच संतापतील. जर परत कधी अशी पूर्वसूचना मिळाली तर बहुधा ते तिच्याकडे दुर्लक्ष करतील, स्थलांतर करणार नाहीत आणि त्यावेळी कदाचित खरोखरच भूकंप होईल.

पूर्वसूचना मिळण्याचे तंत्र सुधारणे हाच यावरील खरा उपाय आहे. एका विशिष्ट क्षमतेचा भूकंप एका विशिष्ट ठिकाणी, विशिष्ट वेळी होईल असे आपण वर्तविले आणि बहुतेक वेळा ते खरे ठरले तर लोक नक्कीच घाईने स्थलांतर करण्यास तयार होतील.

जर भूकंपच टाळता आले तर?

पृथ्वीवरील भूस्तरांची हालचाल मनुष्याला थांबवता येणे शक्य नाही. तसेच प्रचंड खडकांचे एकमेकांशी होणारे घर्षणही त्याला रोखता येणार नाही.

कदाचित आपल्याला खडकांची ही हालचाल सुलभ करता येईल. एखाद्या प्रस्तरभंगाच्या ठिकाणी खडकांवरील दाब वाढू लागला की ते थोडेसे घसरतात, परत चिकटतात, परत घसरतात आणि ही क्रिया चालूच रहाते. यामुळे दरवर्षी अनेक छोटे छोटे भूकंप होत असतील. ५० वर्षांच्या काळातील अशा शेकडो भूकंपांमुळे खिडक्या आणि भांडी थोडीफार हादरत असतील पण फारसे नुकसान होत नसेल.

किंवा, एखाद्या वेळेस खडक थोडेफार घसरून मग अगदी घट्ट चिकटून बसले असतील आणि ५० वर्षांत अजिबात हलले नसतील. दाब वाढल्याने काही मिनिटातच ते ५० वर्षांत घसरले असते तितके एकदमच घसरतील. त्यामुळे मात्र प्रचंड भूकंप होईल.

खडकांना सहजपणे थोडेफार घसरण्याला आपण जर मदत करू शकली तर त्यामुळे फक्त लहानच भूकंप होतील.

प्रस्तरभंगाच्या जवळ खोल विहीरी खोदल्या आणि त्यात पाणी भरले अशी कल्पना करा. पाणी त्या खडकांच्या थरातून आपला मार्ग शोधेल आणि त्याने ते खडक थोडे बुळबुळीत होतील. त्याने लहानसे भूकंप होण्यास चालना मिळेल आणि मोठे भूकंप होणारच नाहीत.

याचा उपयोग होईल का? ते काही आताच सांगता येत नाही.

जर असा प्रयत्न केला आणि त्याला यश आले, किंवा खडक संधपणे घसरावेत यासाठी दुसरा एखादा उपाय शोधण्यात आला, तर कदाचित आपल्याला कधीच मोठा भूकंप होण्याची भीती रहाणार नाही.